

**UNTERSUCHUNGEN ZUM BLEIGEHALT
MENSCHLICHER KNOCHEN**

Renate Kreglinger

1977

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München

Direktor: Professor Dr. med. W. Spann

UNTERSUCHUNGEN ZUM BLEIGEHALT MENSCHLICHER KNOCHEN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität München



vorgelegt von
Renate Kreglinger
geb. Krieger
aus Viöl

1977

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Spann

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 8.3.1977



Das Thema der Arbeit wurde von Herrn Prof. Dr. G. Hauck †
angeregt.

Meinem verehrten Doktorvater ist diese Arbeit
in dankbarem Andenken gewidmet.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555626_0070

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. Beyer und Herrn Dr. Drasch
herzlich für die mir erwiesene freundliche Hilfe danken.

Gliederung

- I. Einleitung
- II. Literatur
- III. Problematik
- IV. Untersuchungsgut
- V. Methodik
- VI. Ergebnisse
 - A. Frische Knochen
 - 1. Gesamtheit
 - a) Ergebnisse
 - b) Diskussion
 - 2. Männliche und weibliche Knochen
 - a) Ergebnisse
 - b) Diskussion
 - 3. Stadt- und Landbevölkerung
 - a) Ergebnisse
 - b) Diskussion
 - B. Prähistorische und historische Knochen
- VII. Diskussion
- VIII. Zusammenfassung

I. Einleitung

Eine zunehmende Bleiexposition der gesamten Bevölkerung sowohl in der Stadt als auch auf dem Land durch die als Antiklopfmittel im Benzin verwandten Bleiverbindungen Bleitetramethyl bzw. Bleitetraäthyl wird immer häufiger diskutiert. Auch heute gehört die Bleivergiftung noch in die Spitzengruppe der gewerblichen Erkrankungen (17). Das Blei verhält sich im menschlichen Körper ähnlich wie das Element Calcium, d. h. es lagert sich wie dieses vermehrt im Knochen ab. Nach Literaturangaben finden sich 92 - 95 % des gespeicherten Bleis im Knochen wieder (16, 17). In der folgenden Arbeit soll in Hinblick darauf untersucht werden, ob, und wenn in welchem Maße, sich die Bleikonzentrationen in den verschiedenen Knochen des Menschen bei unterschiedlicher Bleiexposition ändern.

II. Literaturhinweise

Blei, ein mattglänzendes, relativ weiches Metall mit einem Schmelzpunkt von 327° C wird heute hauptsächlich in Form seiner Verbindungen in der Steingut- und Kachelfabrikation, Porzellan- und Glasmanufaktur, Emaillefertigung, Montagearbeiten, Motorschlösserei und schließlich bei der chemischen Treibstoffherstellung verwandt.

In den menschlichen Körper gelangt das Blei abgesehen von einer geringen percutanen Resorption hauptsächlich über den Magen-Darm-Trakt und durch die Lunge. Normalerweise wird eine tägliche Bleizufuhr von 0,5 mg ohne Reaktion vom menschlichen Organismus toleriert, erst eine tägliche Bleiaufnahme von über 1 mg auf einen längeren Zeitraum verteilt muß als bedenklich angesehen werden (11). Sehr toxisch wirkt das Blei, wenn es durch die Atmung bzw. Lunge direkt in den menschlichen Blutkreislauf gelangt. Als Dosis letalis wird in diesem Fall die Menge von 1 g Blei angegeben (11). Im Blut wird das Blei zu 96 % an die zellulären Bestandteile, d.h. insbesondere an die Erythrozyten, zu 4 % im Plasma gebunden und wirkt als Fermentgift bei der Porphyrinsynthese durch Hemmung der Bildung von Porphobilinogen aus Delta-Aminolävulinsäure. Bei Bleiintoxikationen wird daher Delta-Aminolävulinsäure vermehrt ausgeschieden und ist somit das sicherste klinische Symptom einer Bleivergiftung. Eine Korrelation zwischen erhöhtem Blutbleispiegel und vermehrter Delta-Aminolävulinsäureausscheidung im Urin wurde von Haas et al. nachgewiesen. Weiterhin wirkt das Blei als Fermentgift bei der Umwandlung des Koproporphyrinogen III in Protoporphyrin IX, so daß ein Ansteigen des Koproporphyrinogen III im Urin ebenfalls ein Ausdruck einer akuten Bleiintoxikation sein kann (11).

Zwei Tage nach vermehrter Bleiaufnahme nimmt der Bleigehalt des Blutes ab, er ist dann in den Weichteilen deutlich höher. Gleichzeitig beginnt die langsame Anreicherung des Bleis im Knochen. Lediglich beim Kind wird das Blei bereits kurz nach Aufnahme im Knochen gespeichert. Der menschliche Knochen ist somit als Bleidepot anzusehen, von dem jedoch fortwährend Blei an den Organismus abgegeben wird. Verstärkt geschieht dies bei acidotischer

Stoffwechsellage (11). Das Blei wird im Knochen wahrscheinlich ähnlich dem Element Calcium als schwerlösliches, tertiäres Bleiphosphat ($\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$), vielleicht auch als Kalk-Blei-Verbindung in den Verkalkungszonen abgelagert. Im Knochen gebundenes Blei ist für den menschlichen Organismus unschädlich. Andererseits kann eine hohe Bleikonzentration im Knochen auf eine mögliche zurückliegende Bleiintoxikation hinweisen. Als Normalwerte für die Bleikonzentration im menschlichen Knochen werden in der Literatur Werte von 1 mg% bzw. 1 - 10 mg% angegeben (7, 11). Bei einer Bleiintoxikation können diese Werte um das 20fache und mehr ansteigen.

Wie bereits oben erwähnt wird das im Knochen zunächst gespeicherte Blei besonders bei acidotischer Stoffwechsellage mobilisiert und vermehrt ausgeschieden. Willkürlich kann eine vermehrte Elimination des im Knochen ruhenden Bleis durch eine Injektion von CaNa_2 -EDTA herbeigeführt werden. Als Normalwerte für den Bleigehalt im Blut bzw. im Urin findet man bei Borneff 30 $\mu\text{g}\%$ bzw. 70 $\mu\text{g}/\text{l}$, bei Bleiintoxikation dagegen über 70 $\mu\text{g}\%$. Steigt nach Gabe von 0,5 g CaNa_2 -EDTA i. V. der Urinbleiwert auf über 800 $\mu\text{g}/24 \text{ h}$, so ist dies als Hinweis auf erhöhte Bleidepots zu werten (16).

In der Regel gilt, daß bei Vorliegen von größeren Bleidepots nach Gabe von 1,2 g CaNa_2 -DTA pro die über drei Tage verteilt, die Bleiausscheidung auf das Fünffache ansteigt (11) (Abb. 1).

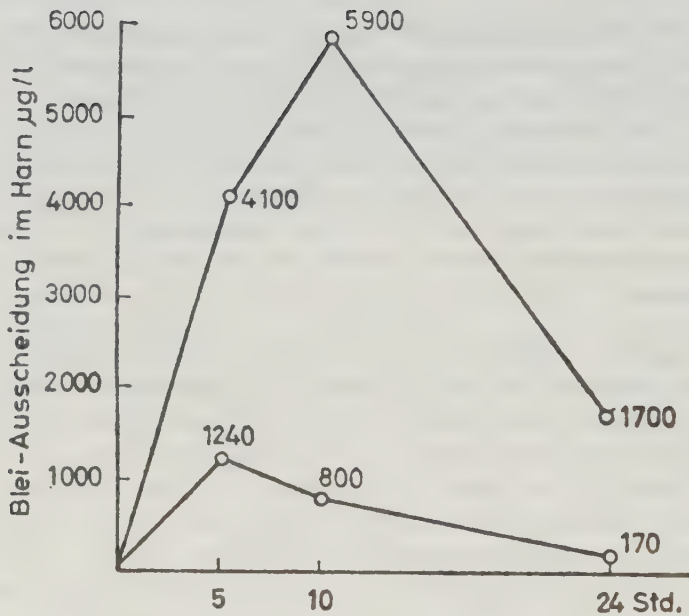


Abb. 1 Erhöhung des Bleispiegels im Urin nach Gabe von 0,5 g $\text{CaNa}_2\text{-EDTA}$ dargestellt an zwei Fällen von Bleiintoxikationen.

Im ersten Fall konnte bereits nach 5 h, im zweiten erst nach 10 h das Maximum nachgewiesen werden (11).

III. Problematik

Bei dem ständig ansteigenden Bleigehalt in der Umwelt erschien es interessant, den Bleigehalt verschiedener Knochen des menschlichen Körpers, insbesondere im Hinblick auf Röhren- und Plattenknochen mit ihren unterschiedlichen Spongiosa- bzw. Compacta-Anteilen zu bestimmen. Ferner war zu klären, ob eine Abhängigkeit zwischen Knochenbleikonzentration und Dauer der Bleiexposition bzw. Alter des Menschen vorhanden ist. Auch ein Vergleich der Knochenbleikonzentrationen bei männlichen bzw. weiblichen Individuen, bzw. bei Stadt- und Landbevölkerung erschien wichtig, zumal entsprechende Angaben in der Literatur nur spärlich sind. Nicht zuletzt stellten wir die Frage, ob eine verstärkte Bleiexposition am Arbeitsplatz zu signifikanten Erhöhungen der Bleikonzentrationen im Knochen führen kann.

Weiterhin wurden zum Vergleich die Bleikonzentrationen in prähistorischen und historischen Knochen untersucht, da diese noch keiner atmosphärischen Bleiexposition ausgesetzt sein konnten. In diesen Fällen schien es jedoch interessant, zu prüfen, ob vor bzw. nach Verwendung der bleihaltigen Glasuren unterschiedliche Bleikonzentrationen in den Knochen zu verzeichnen waren.

IV. Untersuchungsgut

In der Zeit von Februar bis November 1974 wurden bei den Sektionen im Institut für Rechtsmedizin der Universität München Knochenproben von jeweils fünf verschiedenen Knochen der gleichen Leiche entnommen. Zur Entnahmetechnik sei hier kurz erwähnt, daß der anfangs verwendete Bohrer zur Entnahme kleiner Knochenstanzzylinder nicht verwendbar war. So wurden schließlich kleine Knochenproben herausgemeißelt, die wiederum in kleinen Reagiergefäßen (Nr. 39/10A der Fa. Sarstedt, 5223 Nümbrecht) einzeln gesammelt und kühl gelagert wurden. Geordnet wurden die Proben nach den einzelnen Knochen, wobei die Knochen einer Leiche nach GS-Nr. in kleinen Plastiksäckchen verwahrt wurden.

Von den folgenden Knochen entnahmen wir Proben:

1. Schädel (S)
2. Sternum (ST)
3. Beckenkamm (BK) (in den Klammern die in der Arbeit ver-
4. Femurmitte (FM) wendeten Abkürzungen)
5. Femurepiphyse (FE)

Beim Sammeln der Proben wurde auf eine möglichst gleichmäßige Altersverteilung geachtet, d. h. nach Abschluß der Untersuchungen lagen von den einzelnen Jahrzehnten jeweils ca. 7 Proben vor. Nach GS-Nr. bzw. den entsprechenden Angaben geordnet wurde von jeder Leiche eine Karteikarte angelegt, die folgende Daten enthielt:

GS-Nr., Alter, Geschlecht, Wohnort, Beruf

Insgesamt wurden 57 Leichen untersucht, davon waren 16 weiblich, 41 männlich. 20 hatten überwiegend auf dem Land, 37 in der Stadt gelebt (Tab. 1).

Die prähistorischen bzw. historischen Knochenpräparate wurden uns freundlicherweise vom Komm. Leiter des Anthropologischen Institutes der Universität München, Herrn Dr. Georg Glowatzki, zur Verfügung gestellt.

Tab. 1 Übersicht der Daten der untersuchten Leichen

Lfd. Nr.	Alter	GS-Nr.	Geschlecht	Wohnort	Beruf
1	5	840/74	männl.	Land	-
2	13	229/74	männl.	Stadt	Schüler
3	15	228/74	männl.	Stadt	Schüler
4	17	755/74	männl.	Land	Lehrling
5	17	823/74	weibl.	Land	-
6	19	461/74	männl.	Stadt	-
7	20	832/74	männl.	Stadt	Schüler
8	21	366/74	männl.	Land	Dekorateur
9	22	377/74	männl.	Stadt	Monteur
10	26	226/74	männl.	Stadt	Pförtner
11	26	820/74	männl.	Stadt	Techniker
12	28	860/74	weibl.	Stadt	-
13	28	847/74	männl.	Stadt	-
14	28	846/74	männl.	Stadt	Elektriker
15	31	818/74	männl.	Land	Schlosser
16	31	831/74	männl.	Land	Fahrer
17	31	861/74	weibl.	Land	Pflegerin
18	32	854/74	männl.	Stadt	Elektriker
19	34	243/74	männl.	Stadt	Elektriker
20	37	822/74	männl.	Land	Techniker
21	38	230/74	männl.	Stadt	Hilfsarbeiter
22	38	859/74	männl.	Stadt	Fahrer
23	41	833/74	männl.	Stadt	Facharbeiter
24	41	848/74	männl.	Stadt	Arbeiter
25	43	819/74	männl.	Stadt	-
26	45	845/74	männl.	Stadt	Hilfsarbeiter
27	47	856/74	weibl.	Land	Hausfrau
28	48	829/74	weibl.	Stadt	Hausfrau
29	48	835/74	männl.	Stadt	Dachdecker
30	48	241/74	weibl.	Stadt	Laborantin
31	52	354/74	männl.	Stadt	Taxifahrer
32	52	857/74	weibl.	Land	Hausfrau
33	53	849/74	weibl.	Land	Arbeiterin
34	53	438/74	weibl.	Land	Landwirtin
35	53	356/74	weibl.	Land	Hausfrau
36	55	227/74	männl.	Stadt	Pförtner
37	56	222/74	weibl.	Stadt	Angestellte
38	56	364/74	männl.	Land	Lagerarbeiter
39	56	839/74	männl.	Stadt	Angestellter
40	57	238/74	weibl.	Stadt	Putzfrau
41	58	837/74	weibl.	Land	Hausfrau
42	58	844/74	männl.	Stadt	Anwalt
43	58	244/74	weibl.	Land	Hausfrau
44	59	841/74	weibl.	Land	Hausfrau
45	63	232/74	männl.	Stadt	Hilfsarbeiter
46	63	828/74	männl.	Land	Kaufmann
47	64	310/74	männl.	-	Monteur
48	68	851/74	männl.	Stadt	Hilfsarbeiter
49	68	852/74	männl.	Stadt	-
50	70	855/74	männl.	Stadt	Direktor
51	70	827/74	männl.	Stadt	-
52	70	830/74	männl.	Land	Landwirt
53	72	838/74	männl.	Land	-
54	74	826/74	weibl.	Stadt	-
55	77	382/74	männl.	Stadt	-
56	78	239/74	männl.	Stadt	Handelsgeh.
57	78	242/74	männl.	Stadt	-

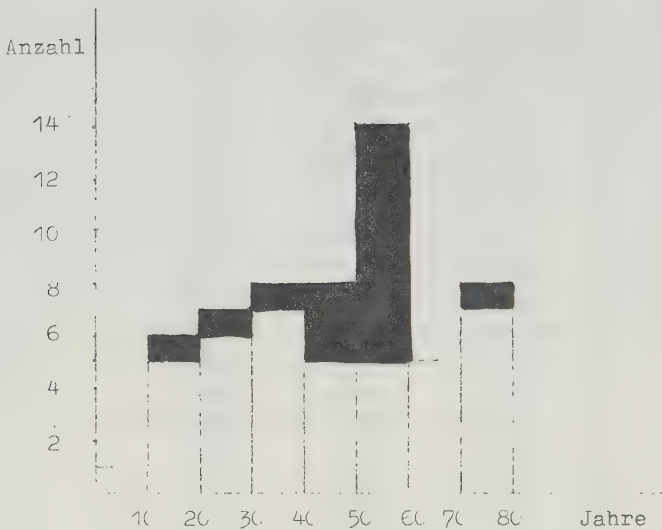


Abb. 2 Verteilung der männlichen und weiblichen Probanden in den einzelnen Jahrzehnten

männl.

weibl.

Aus den prähistorischen und historischen Funden wurden drei Knochenproben aus je vier unterschiedlichen Zeitaltern zusammengestellt. Ihre Fundorte waren immer Höhlen bzw. Gräber, so daß sie sich in etwa entsprachen. Leider war es nicht in allen Fällen möglich, die Proben den entsprechenden Knochen zuzuordnen, so daß bei den prähistorischen und historischen Knochen eine Klassifizierung in Röhren- und Plattenknochen nicht möglich war.

Die ältesten Knochenproben stammen aus der Zeit 13000 ± 100 J b.p., gefunden wurden sie in der sog. "Offnet-Höhle" (4). Es ist sicher, daß zu jener Zeit noch keine Metallverbindungen verwendet wurden. Die nächst jüngeren Knochenproben stammen aus der Bronzezeit, d. h. sie hatten ein Alter von ca. 3000 Jahren b.p., gefunden

wurden sie in der Nähe von Kühnlenthal, Literaturveröffentlichungen noch nicht bekannt. Zu jener Zeit wurden bereits Gefäße mit einer Bleiglasur verwendet, die von den Römern eingeführt worden waren. Die dritte Gruppe der alten Knochen stammt aus der Zeit ca. 1200 J b.p., sie stammt aus Funden in der Nähe von Dirlewang (5). In diesen Grabstätten fand man erstmals Beigaben in Form von eisen- und kupferhaltigen Gegenständen. Die jüngsten Knochenproben stammen aus der Zeit von ca. 1100 bis 900 J b.p., es handelt sich um Knochenfunde aus Gräbern in der Nähe von Türkheim, hier fehlten die Beigaben, da es sich hier bereits um christliche Bestattungen handelte (6). Bleiglasuren wurden erstmals in der späten Bronzezeit um ca. 2000 J b.p. verwendet.

V. Methodik

Die bei den Sektionen auf die bereits beschriebene Art gesammelten Knochenproben wurden dann zur weiteren Verwendung von Periost bzw. anderen anhaftenden Verunreinigungen freipräpariert. Die einzelnen herausgemeißelten Knochenanteile variierten sehr stark in der Größe. Da für die weitere Untersuchung eine Auflösung der Knochen in einem bestimmten Lösungsverhältnis nötig war, mußten die Proben mit einem Messer zerkleinert werden. Bei dieser Zerkleinerung wurde wiederum darauf geachtet, daß die spongiosa- bzw. compactahaltigen Anteile eines Knochenfragmentes in etwa einander entsprachen. Es wurde ein Gewicht zwischen 100 und 150 mg angestrebt. Die ausgewogenen Proben wurden wiederum in den bereits früher erwähnten Reagiergefäßen einzeln aufgehoben. Gekennzeichnet waren die Gefäße jeweils mit der GS-Nr. und dem Anfangsbuchstaben des Knochen. Nach Abschluß dieser Vorarbeiten wurde in jedes Reagiergefäß 500 µl konzentrierte Salpetersäure mittels einer sog. Eppendorf-Pipette gefüllt. Wegen der sich bei der Lösung des Knochens entwickelnden Gase wurden die Gefäße bei Zimmertemperatur 2 bis 3 Tage mit geöffnetem Deckel stehengelassen. Nach diesem Zeitraum waren sämtliche frische Knochen gelöst. Lediglich die historischen Knochen benötigten eine Lösungsdauer von ca. 7 Tagen. Nach vollständiger Auflösung des einzelnen Knochens wurde wiederum mittels einer Eppendorf-Pipette jedes Reagiergefäß mit 500 µl Aqua dest. aufgefüllt und darauf verschlossen.

Die weiteren Untersuchungen wurden an dem Atomabsorptions-Spektrophotometer 300 SG der Firma Perkin Elmer mit der Graphitküvette HGA 72 durchgeführt, da die flammenlose Atomabsorption eine der empfindlichsten Methoden zur Bestimmung von Schwermetallen in organischem Material ist. Zum besseren Verständnis der Wirkungsweise des oben erwähnten Gerätes zu Beginn einige Erläuterungen.

"Die im allgemeinen flüssige Probe wird in eine kleine Öffnung eines Graphitrohres (Massmann) mittels einer Spezialpipette eingespritzt, dort je nach benötigter Temperatur getrocknet und verascht. Daran anschließend wird die Temperatur innerhalb der Graphitrohre soweit gesteigert, daß das zu bestimmende Element in

Dampfform vorliegt. Gleichzeitig wird die Graphitröhre mit dem Licht des zu bestimmenden Elementes durchstrahlt, darauf die Absorption des Lichtes durch den atomaren Dampf gemessen und registriert (10)." Die Messungen bzw. Registrierung erfolgte mit einem Beckmann Recorder 10 mV mit einer Papiergeschwindigkeit von 1 Zoll/min (10).

Die weiteren Bedingungen waren:

Trocknen:	30 sec	35 Digits	ca. 100° C
Veraschen:	30 sec	126 Digits	ca. 550° C
Atomisieren:	20 sec	500 Digits	ca. 2040° C
Ausglühen:	5 sec	890 Digits	ca. 2620° C

Diese Bedingungen haben sich bei früheren Untersuchungen im Institut bewährt, sie wurden daher auch bei den Untersuchungen dieser Arbeit verwendet. Die Erfahrungen haben weiterhin gezeigt, daß eine Absorption unspezifischer Art des Lichtes der Hohlkathodenlampe, wie sie durch Rauchentwicklung beim Veraschen organischen Materials hervorgerufen werden kann, durch die Anwendung eines sog. Untergrundkompensators auszugleichen ist. Bei den folgenden Bestimmungen wurde als Untergrundkompensator eine Deuterium-Lampe verwendet, deren Licht durch Rauch in ähnlicher Weise geschwächt wird, wie das der Hohlkathodenlampe, das jedoch durch den atomaren Dampf des zu bestimmenden Elementes nicht beeinflußt wird. Die Differenz der Absorption des Lichtes der Hohlkathodenlampe und der Deuterium-Absorption ergibt dann die Absorption des Dampfes des zu bestimmenden Elementes. Als Nachteil muß bei der Verwendung eines Untergrundkompensators lediglich eine etwas unruhige Null-Linie bei der Registrierung in Kauf genommen werden.

Wie bereits eingangs erwähnt ist die flammenlose Atomabsorption eine so empfindliche Bestimmungsmethode, daß eine Anreicherung des zu untersuchenden Materials bzw. Elementes nicht mehr notwendig ist und damit eine der wesentlichsten Fehlerquellen ausscheidet. Für Blei wird bei dieser Untersuchungstechnik eine Nachweisgrenze von 1×10^{-10} g angegeben. Die in der Literatur angegebenen Normalwerte für den Bleigehalt im Knochen werden mit ca. 1 mg% angegeben, d. h. sie liegen bei ca. 1×10^{-7} g/10 µl. Bei größeren Anteilen anorganischen Materials muß mit verstärk-

ter Rauchentwicklung gerechnet werden. Es bietet sich die Verwendung eines Untergrundkompensators an.

Bei den Untersuchungen wurde aus den einzelnen Reagiergefäßen, die eine Lösung im folgenden Verhältnis enthielten

ca. 100 mg Knochen in 1 ml Flüssigkeit $\begin{matrix} 0,5 \text{ ml HNO}_3 \\ 0,5 \text{ ml H}_2\text{O} \end{matrix}$

mittels einer Spezialpipette eine Menge von 10 μl entnommen, in die Öffnung der Graphitröhre des Atomabsorptions-Spektrophotometers eingespritzt, dann auf die oben erwähnte Art verascht, atomisiert und die Absorption mit dem Beckmann-Recorder registriert. Wir führten durchschnittlich 2 Messungen der einzelnen Flüssigkeitsproben durch, ferner machten wir je 2 Messungen von Probe + Standardlösung (Abb. 3). Die Standardlösung wurde zu Beginn der Messungen aus Bleiacetat mit HNO_3 und H_2O im gleichen Lösungsverhältnis wie bereits oben beschrieben angesetzt

1×10^{-9} gPb in 10 μl Flüssigkeit (HNO_3 + H_2O).

Aus den registrierten Ausschlägen bzw. deren Differenzen berechneten wir die Menge der Bleikonzentration in den einzelnen Knochen nach folgender Formel:

$$\frac{\text{Ausschlag Probe} \times 10}{\text{Ausschlag Diff.} \times \text{Substanz (g)}} = \mu\text{g\% Pb}$$

Die weiteren Auswertungen erfolgten nach den allgemeinen Voraussetzungen der Statistik, speziell wendeten wir lediglich für die Irrtumswahrscheinlichkeit den zweiseitigen t-Test anhand der Tabelle für die Signifikanzschranke der Student-Verteilung nach Yates und Fisher an. Dieser zweiseitige t-Test ist auf dem 5 %-Niveau signifikant.

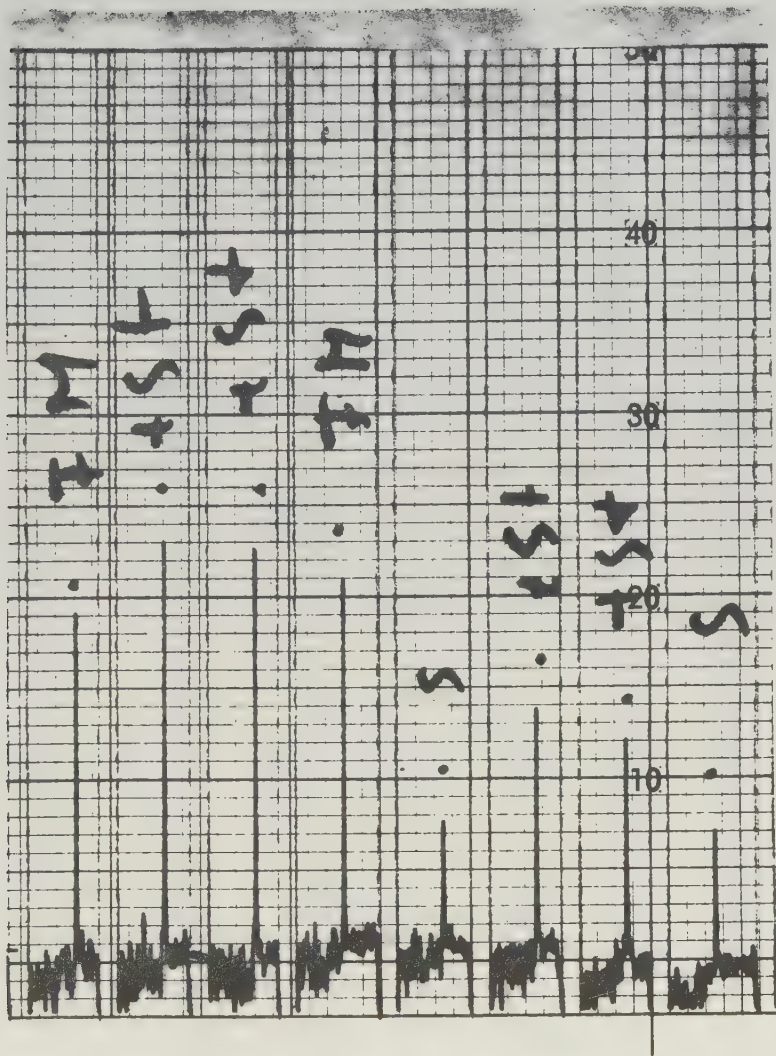


Abb. 3 Registrierte Absorption des atomaren Bleidampfes bei jeweils 2 Proben und den gleichen Proben mit einem Standard

VI. Ergebnisse

Die gemessenen und berechneten Bleikonzentrationen der einzelnen Knochen wurden nach Alter und laufender Nummer geordnet und sind der Tab. 2 zu entnehmen. Auch in dieser Tabelle wurden die Abkürzungen für die einzelnen Knochen verwendet, die wir bereits auf der Seite 6 angeführt haben.

Die Bleikonzentrationen der prähistorischen und historischen Knochen sind der Tab. 3 zu entnehmen, sie wurden nach Alter der Knochen bzw. nach Jahrhunderten geordnet.

Es sei an dieser Stelle allgemein darauf hingewiesen, daß die im folgenden aufgeführten Mittelwerte $\bar{x}$ und Standardabweichungen den Medianen und Signifikanzschränken in delogarithmierten Werten entsprechen, da erst die Logarithmierung der Stichproben im Histogramm eine Normalverteilung zeigt, die für unsere weiteren statistischen Berechnungen Voraussetzung war. Der Mittelwert $\bar{x}$ entspricht dagegen dem arithmetischen Mittel.

Tab. 2 Übersicht der Bleikonzentrationen in den Knochen angegeben in $\mu\text{g}\%$

Lfd. Nr.	Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
1	5	150	46	35	205	159	119
2	13	71	41	130	153	146	108
3	15	203	111	200	402	219	227
4	17	289	107	144	770	357	333
5	17	0	302	159	347	425	308
6	19	166	157	293	433	546	319
7	20	109	137	107	864	592	361
8	21	166	102	127	158	188	148
9	22	180	118	184	276	331	217
10	26	381	157	124	357	378	279
11	26	468	113	243	461	559	368
12	28	716	810	851	887	1035	859
13	28	362	225	194	369	471	324
14	28	545	369	299	450	527	438
15	31	438	176	167	584	406	354
16	31	182	0	129	258	176	186
17	31	472	214	477	285	446	378
18	32	261	0	536	528	562	471
19	34	345	208	233	760	701	449
20	37	305	147	283	688	510	386
21	38	608	365	385	413	404	435
22	38	1223	327	310	1311	352	704
23	41	317	102	110	416	441	277
24	41	922	406	503	933	503	653
25	43	512	189	496	663	300	432
26	45	1112	1019	503	981	1373	997
27	47	376	235	362	533	482	397
28	48	296	83	286	638	899	440
29	48	267	275	543	716	582	476
30	48	322	449	337	166	396	334
31	52	350	127	464	863	485	457
32	52	232	114	154	359	285	228
33	53	1016	506	310	1762	787	876
34	53	378	75	83	646	237	283
35	53	946	151	85	463	423	413
36	55	643	283	364	784	467	508
37	56	772	285	898	0	227	545
38	56	800	292	158	441	442	426
39	56	678	287	445	922	565	579
40	57	544	218	367	618	860	521
41	58	236	178	89	238	251	198
42	58	448	173	691	332	949	518
43	58	359	69	98	154	216	179
44	59	860	245	970	572	708	671
45	63	664	380	299	536	322	440
46	63	898	173	328	313	618	466
47	64	226	270	307	1017	920	548
48	68	1932	483	879	612	1137	1008
49	68	446	261	265	563	532	413
50	70	580	116	208	854	401	431
51	70	330	0	356	906	314	476
52	70	511	67	105	523	261	293
53	72	265	183	125	211	114	179
54	74	306	28	388	1309	888	583
55	77	451	342	207	842	412	450
56	78	913	308	129	574	975	579
57	78	1375	1214	936	956	1749	1246

Tab. 3 Übersicht der Bleikonzentrationen in den prähistorischen bzw. historischen Knochen

Zeitalter b.p.	lfd. Nr.	Alter	$\mu\text{g } \% \text{ Pb}$	MW $\mu\text{g } \% \text{ Pb}$
13000 $\pm$ 100	1	8	410	
	2	25	290	355
	3	20	364	
ca. 3000	4	25	388	
	5	25	579	438
	6	25	348	
ca. 1200	7	25	326	
	8	25	499	352
	9	25	230	
900 - 1100	10	18	1488	
	11	25	685	909
	12	25	556	

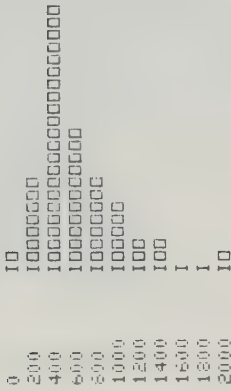
A. 1. a) Ergebnisse der Gesamtheit

Die Stichprobenwerte der Bleikonzentrationen in den einzelnen menschlichen Knochen wurden in Abhängigkeit von ihrer Häufigkeit in einem Ordinaten-System dargestellt. Diese eingipfligen Kurven zeigen keine Normalverteilung. Erst nach Logarithmieren der Stichprobenwerte zeigen die Histogramme eine Gauß- bzw. Normalverteilung, die für die weiteren statistischen Untersuchungen Voraussetzung ist.

Die Histogramme der einzelnen Knochen in delogarithmierten bzw. logarithmierten Werten sind den Abb. 4 - 8 a/b zu entnehmen.

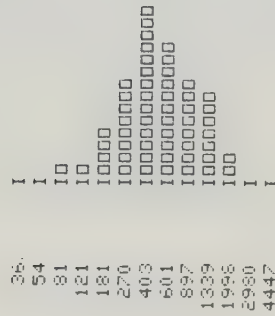
Es wurden weiter die Mediane und Signifikanzschranken der einzelnen Knochen in delogarithmierten Werten bestimmt. Sie sind der Tab. 4 zu entnehmen.

Absolute
Häufigkeit



a)

Absolute
Häufigkeit



b)

Abb. 4 Histogramme des Schädels
a) normale Stichprobenwerte
b) logarithmierte Stichprobenwerte

Absolute
Häufigk.



a)

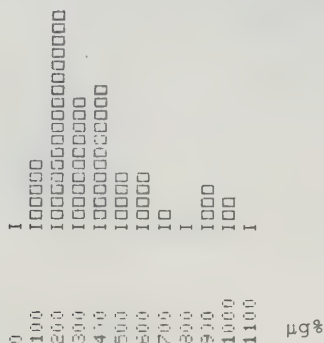
Absolute
Häufigk.



b)

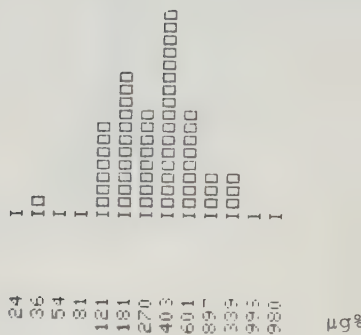
Abb. 5 Histogramme des Sternums
a) normale Stichprobenwerte
b) logarithmierte Stichprobenwerte

Absolute
Häufigk.



a)

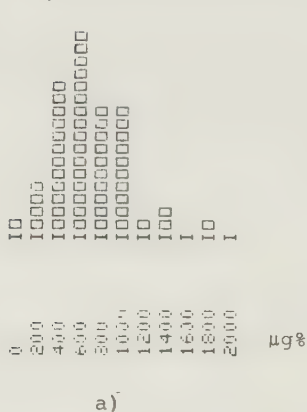
Absolute
Häufigk.



b)

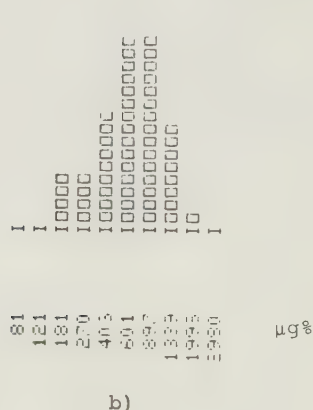
Abb. 6 Histogramme des Beckenkamms
a) normale Stichprobenwerte
b) logarithmierte Stichprobenwerte

Absolute
Häufigk.



a)

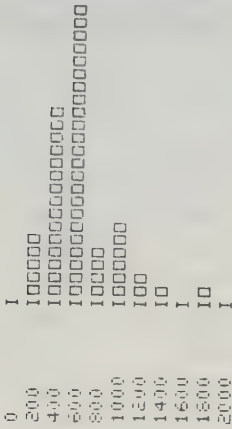
Absolute
Häufigk.



b)

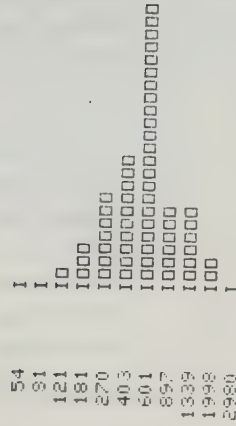
Abb. 7 Histogramme der Femurmitte
a) normale Stichprobenwerte
b) logarithmierte Stichprobenwerte

Absolute
Häufigk.



a)

Absolute
Häufigk.



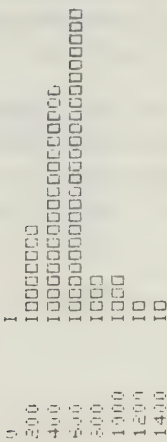
b)

Abb. 8 Histogramme der Femurepiphyse

a) normale Stichprobenwerte

b) logarithmierte Stichprobenwerte

Absolute
Häufigk.



a)

Absolute
Häufigk.



b)

Abb. 9 Histogramme der Knochenmittelwerte

a) normale Stichprobenwerte

b) logarithmierte Stichprobenwerte

Tab. 4 Mediane und Signifikanzschränken in delogarithmierten Werten der Bleikonzentrationen der Knochen des Gesamtgutes

Knochen	$\tilde{x}$	$\tilde{x} - 1\sigma$	$\tilde{x} + 1\sigma$
Schädel	408	218	764
Sternum	195	93	408
Beckenkamm	254	125	519
Femurmitte	513	291	906
Femurepiphyse	450	255	792
Mittelwerte	394	239	650

Nach dem zweiseitigen t-Test prüften wir dann weiter, ob sich die Mediane der Bleikonzentrationen der unterschiedlichen Knochen signifikant unterscheiden bzw. ob sie einander gleich sind. Die errechneten Wahrscheinlichkeiten sind der Tab. 5 zu entnehmen.

Die Kombinationen der Knochen bei einer Aufreihung nach steigender Bleikonzentration sind der Tab. 6 zu entnehmen. Auch hier wurde der Medianwert zugrunde gelegt.

Abschließend prüften wir dann, ob sich bei der Gesamtheit mit zunehmendem Alter eine vermehrte Bleiablagerung im Knochen bemerkbar macht. Die Bleikonzentrationsmittelwerte der einzelnen Knochen in den Jahrzehnten sind der Tab. 7 zu entnehmen.

Tab. 5 Vergleichswerte nach dem zweiseitigen t-Test aller Knochen des Gesamtgutes

Knochenpaar	FG	$\hat{t}$	α
S - St	52	9,97	0,0001
S - BK	55	5,4	0,0001
S - FM	54	2,4	0,002
S - FE	55	0,86	0,5
S - MW	55	1,1	0,5
St - BK	53	2,89	0,01
St - FM	52	9,28	0,0001
St - FE	53	9,55	0,0001
St - MW	53	9,91	0,0001
BK - FM	55	8,08	0,0001
BK - FE	56	7,32	0,0001
BK - MW	56	7,13	0,0001
FM - FE	55	1,78	0,1
FM - MW	55	5,69	0,0001
FE - MW	56	3,18	0,002

Tab. 6 Kombinationen der Knochen bei Sortierung nach steigender Bleikonzentration

Häufigkeit	Kombination				
7	ST	BK	S	FE	FM
6	ST	BK	FE	S	FM
4	BK	ST	FE	S	FM
3	ST	S	BK	FM	FE
3	BK	ST	FE	FM	S
3	ST	BK	S	FM	FE
2	ST	S	BK	FM	FE
2	ST	BK	FM	S	FE
2	BK	ST	S	FM	FE
2	ST	FM	FE	S	BK
2	ST	FE	BK	S	FM
2	BK	FM	ST	S	FE
2	S	ST	BK	FE	FM
2	ST	FM	BK	FE	S

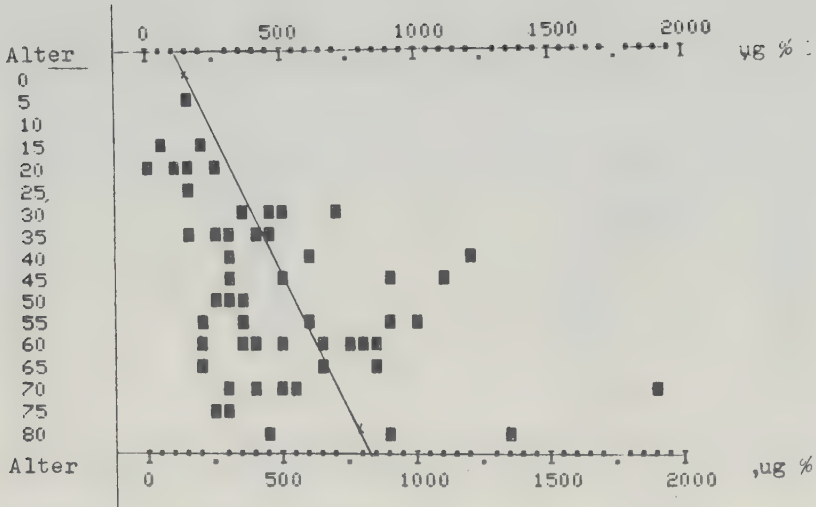


Abb. 10 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Schädel des Gesamtgutes. $m = 7,94$ $k = 149$

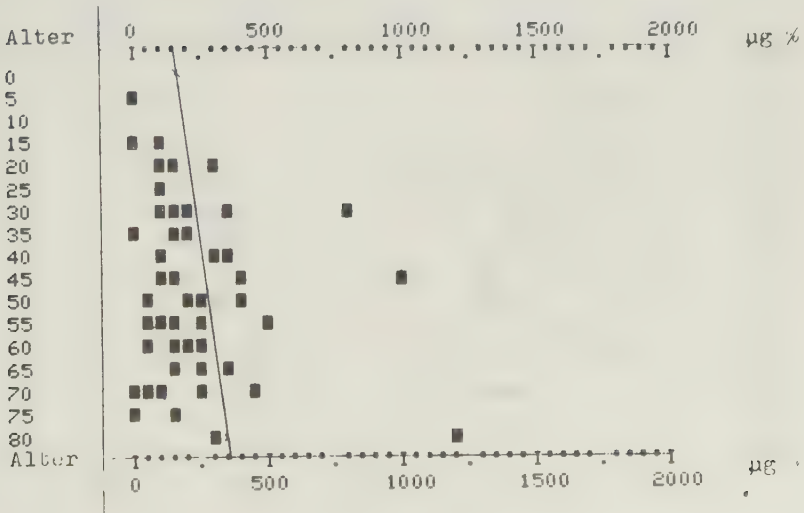


Abb. 11 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für das Sternum des Gesamtgutes. $m = 2,59$ $k = 137$

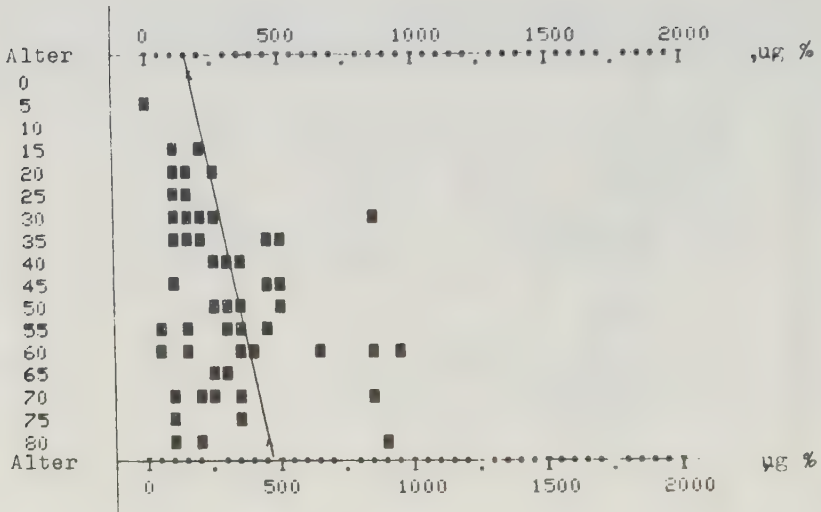


Abb. 12 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Beckenkamm des Gesamtgutes.
 $m = 3,22$ $k = 177$

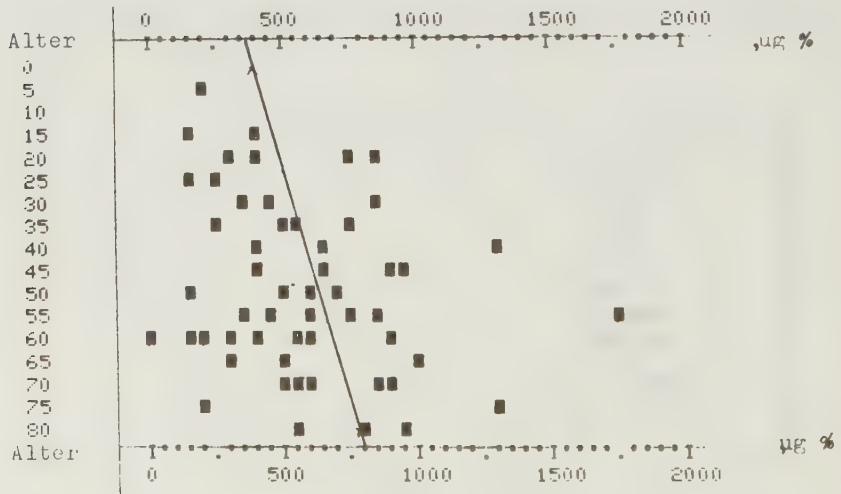


Abb. 13 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurmitte des Gesamtgutes. $m = 5,19$ $k = 359$

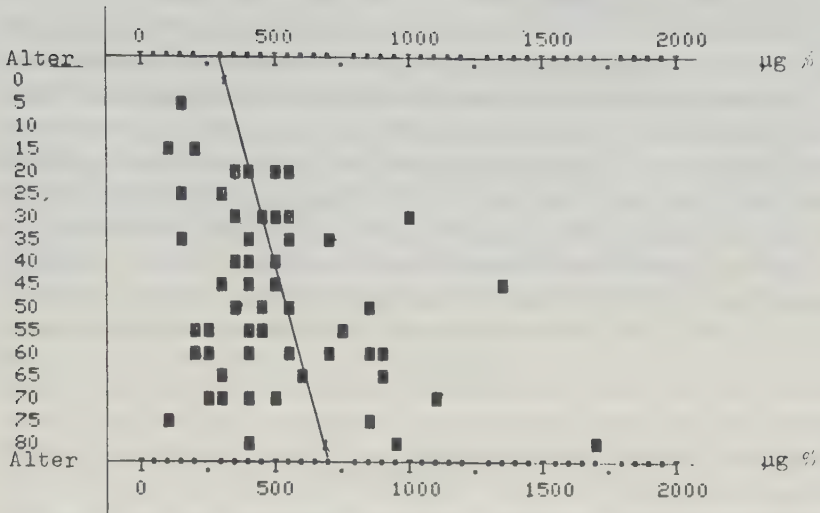


Abb. 14 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurepiphyse des Gesamtgutes.
 $m = 5,38$ $k = 280$

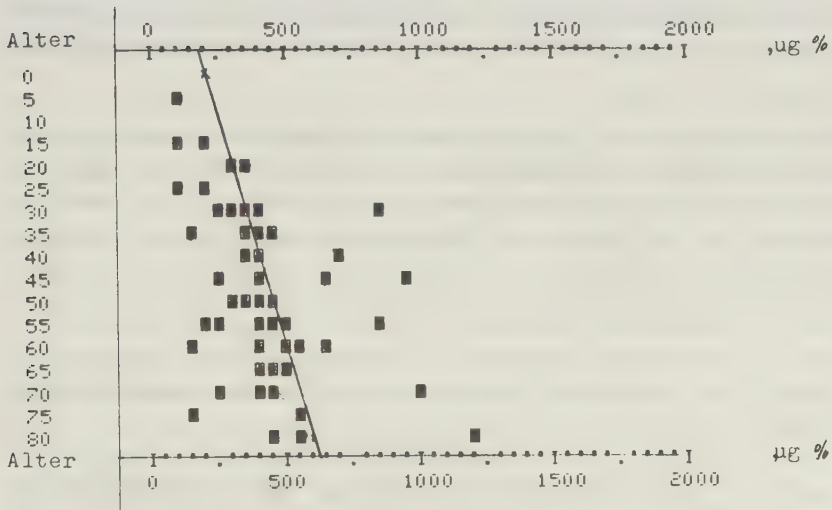


Abb. 15 Regressionsgerade der Bleikonzentrationen bezüglich des Alters für die Knochenmittelwerte des Gesamtgutes.
 $m = 4,85$ $k = 222$

VI. A. 1. b) Diskussion

Aus der Tab. 4 ist ersichtlich, daß die mittleren Bleikonzentrationen des Gesamtgutes in den überwiegend kompaktahaltigen Knochen Schädel und Femurmitte am höchsten waren, dagegen war der Bleigehalt in den spongiosahaltigen Knochen Beckenkamm und Sternum deutlich niedriger. Der relativ hohe Bleigehalt in der Femurepiphyse, die ebenfalls vorwiegend spongiosahaltig ist, erklärt sich mit größter Wahrscheinlichkeit durch die Tatsache, daß die Epiphysenfugen im Körper während der Wachstumsphase, d. h. bis ca. zum 20. Lebensjahr einem verstärkten Stoffwechsel unterliegen.

Weiter sollte durch den Vergleich der mittleren Bleikonzentrationen in den einzelnen Knochen des Gesamtgutes geprüft werden, ob sich diese signifikant unterscheiden, oder ob sie einander entsprachen. Wie die Tab. 5 zeigt, unterscheiden sich nahezu alle Knochen signifikant, lediglich der Schädel und die Femurepiphyse, sowie die Femurmitte und die Femurepiphyse sind einander gleich. Es erscheint somit von großer Bedeutung, welcher Knochen einer Leiche bei einer fraglichen Bleiexposition zur Bestimmung des Bleigehalts biopsiert wird. Da Femurmitte und -epiphyse den Röhrenknochen zuzuordnen sind, der Schädel jedoch zu den platten Knochen gerechnet wird, ist es interessant, daß nach unseren Untersuchungen zumindest in begrenztem Maße ein Vergleich möglich ist.

Weiter ordneten wir die mittleren Bleikonzentrationen der einzelnen Knochen des Gesamtgutes nach steigenden Werten. Aus der Tab. 6 ist zu entnehmen, daß die Femurmitte, damit ein Röhrenknochen, am häufigsten den höchsten Bleigehalt hatte, gefolgt von der Femurepiphyse, auch diese zu den Röhrenknochen zu zählen.

Abschließend prüften wir dann, ob es beim Gesamtgut im Laufe des Lebens durch zunehmende Bleiexposition zu einer vermehrten Bleiablagerung in den Knochen kam. Wie die Tab. zeigt, ist zumindest für den Schädel, die Femurmitte und die Femurepiphyse eine deutliche Altersabhängigkeit nachweisbar. Wir bestimmten daher weiter den Korrelationskoeffizienten, ferner den Regressionskoeff-

fizienten, deren Werte der Tab. 8 zu entnehmen sind, zeichneten dann die Regressionsgerade in das Diagramm mit der Ordinate Bleigehalt in $\mu\text{g\%}$ und der Abszisse Alter in Jahren ein. Die Abb. 10 - 15 zeigen diese Regressionsgeraden, die zumindest im Schädel, Femurmitte und Femurepiphyse deutlich ansteigen. Aufgrund des relativ niedrigen Korrelationskoeffizienten muß jedoch noch an eine andere Möglichkeit gedacht werden: die scheinbare Zunahme der Bleikonzentrationen in den höheren Altersklassen kann auch durch die offensichtlich größere Streubreite der Werte in den hohen Altersklassen bewirkt sein. Die größere Streuung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die unterschiedliche Bleiexposition der einzelnen Personen zurückzuführen.

VI. A. 2. a) Ergebnisse der männlichen und weiblichen Knochen

Die Mediane und Signifikanzschranken in delogarithmierten Werten für die einzelnen männlichen und weiblichen Knochen sind der Tab. 9 zu entnehmen.

Weiter prüften wir, ob sich die männlichen mittleren Bleikonzentrationen signifikant von den entsprechenden weiblichen unterscheiden. Die nach dem zweiseitigen t-Test berechneten Wahrscheinlichkeiten sind der Tab. 10 zu entnehmen.

Abschließend prüften wir auch hier, ob die zunehmende Bleiexposition in den einzelnen Jahrzehnten zu einer vermehrten Bleiablagerung in den männlichen und weiblichen Knochen führte. Die mittleren Bleikonzentrationen in den einzelnen Jahrzehnten sind den Tab. 11 und 12 zu entnehmen.

Da wiederum eine gewisse Zunahme des Bleigehaltes zumindest in einigen männlichen Knochen nachzuweisen war, bestimmten wir auch in diesen Fällen die Regressions- und Korrelationskoeffizienten. Die Werte sind der Tab. 13 zu entnehmen.

Die aus Alter und mittlerer Bleikonzentration bestimmten Regressionsgeraden für die Knochen, die eine gewisse Altersabhängigkeit zeigten, sind den Abb. 16 - 22 zu entnehmen.

Tab. 9 Mediane und Signifikanzschranken in delogarithmierten Werten der Knochen des männlichen und weiblichen Untersuchungsgutes

Knochen	Geschlecht	$\tilde{x}$	$\tilde{x} - 1\sigma$	$\tilde{x} + 1\sigma$
Schädel	männlich	405	199	825
	weiblich	463	279	767
Sternum	männlich	200	98	407
	weiblich	183	78	428
Beckenkamm	männlich	248	127	487
	weiblich	271	116	629
Femurmitte	männlich	516	310	895
	weiblich	479	239	957
Femurepi.	männlich	443	247	796
	weiblich	467	269	809

Tab. 10 Vergleichswerte der mittleren Bleikonzentrationen der männlichen und weiblichen Knochen nach dem zweiseitigen t-Test

Knochen	FG	$\hat{t}$	α
Schädel	38	0,78	0,4
Sternum	25	0,36	0,5
Beckenkamm	24	0,36	0,5
Femurmitte	21	0,48	0,5
Femurepiphyse	31	0,31	0,5
Mittelwerte	31	0,29	0,5

Tab. 11 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ der einzelnen Knochen der Männer in den einzelnen Jahrzehnten

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
0 - 20	518	92	160	392	285	221
20 - 40	398	203	237	534	438	365
40 - 60	604	315	427	705	610	532
60 - 80	715	345	345	658	646	544

Tab. 12 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ der einzelnen Knochen der Frauen in den unterschiedlichen Jahrzehnten

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
0 - 20	-	302	158	347	425	308
20 - 40	594	512	664	586	740	618
40 - 60	528	217	336	559	462	408
60 - 80	306	28	389	1309	888	583

Tab. 13 Regressions- und Korrelationskoeffizienten der männlichen und weiblichen Knochen

Knochen	Geschlecht	Regressionskoeffizient	Korrelationskoeffizient
S	männlich	9,2	0,5
	weiblich	- 2,5	0,1
ST	männlich	4,4	0,4
	weiblich	- 7,4	0,5
BK	männlich	3,8	0,4
	weiblich	- 1,1	$5,2 \times 10^{-2}$
FM	männlich	4,8	0,4
	weiblich	7,9	0,3
FE	männlich	6,4	0,4
	weiblich	- 0,5	2×10^{-2}
MW	männlich	5,7	0,5
	weiblich	- 8,4	$5,4 \times 10^{-3}$

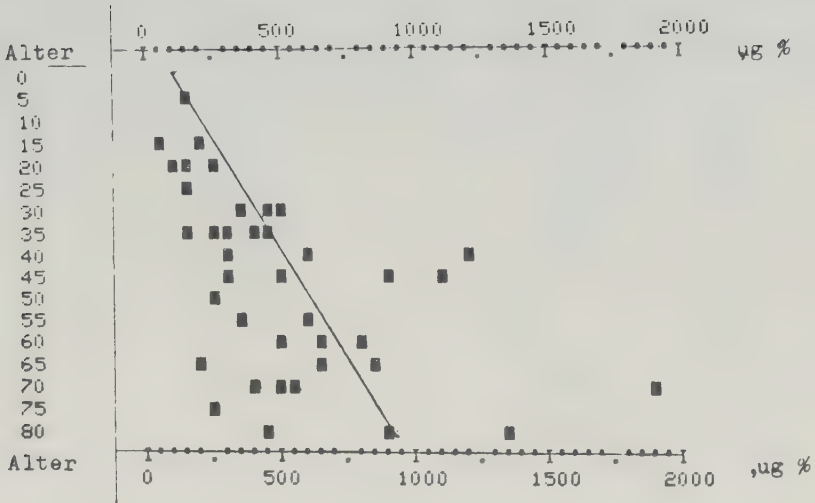


Abb. 16 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Schädel des männlichen Untersuchungs-
gutes. $m = 9,2$ $k = 106$

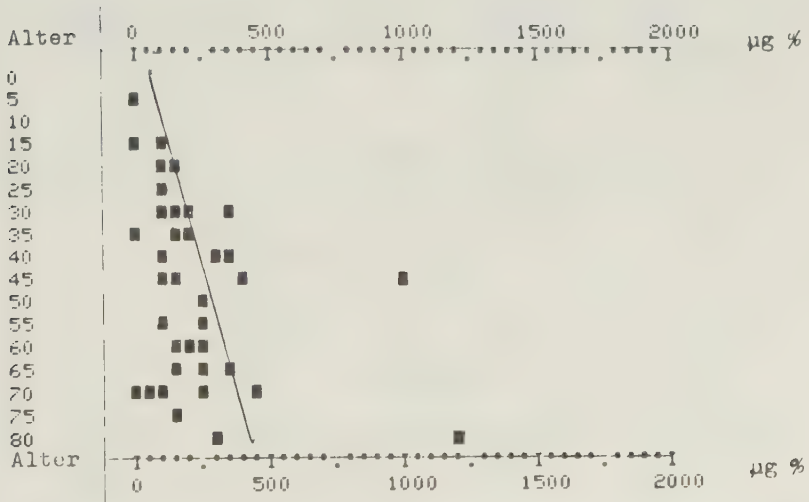


Abb. 17 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für das Sternum der männlichen Probanden.
 $m = 4,4$ $k = 63$

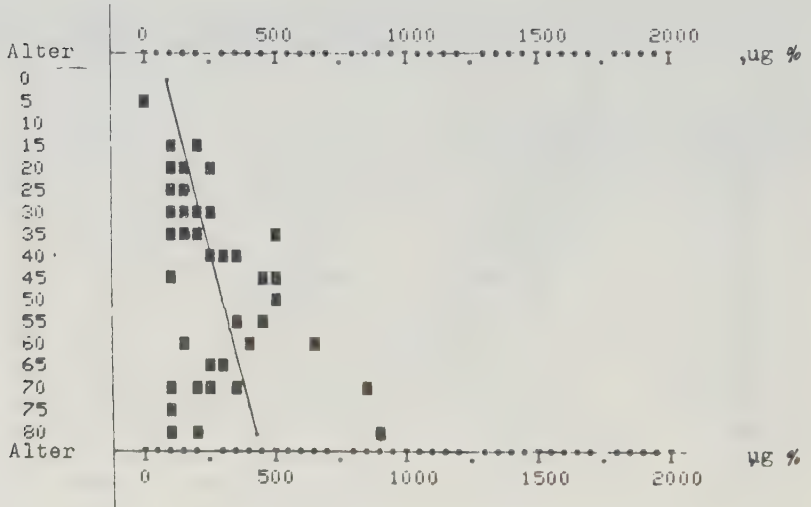


Abb. 18 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Beckenkamm des männlichen Untersuchungs-
gutes. $m = 3,8$ $k = 139$

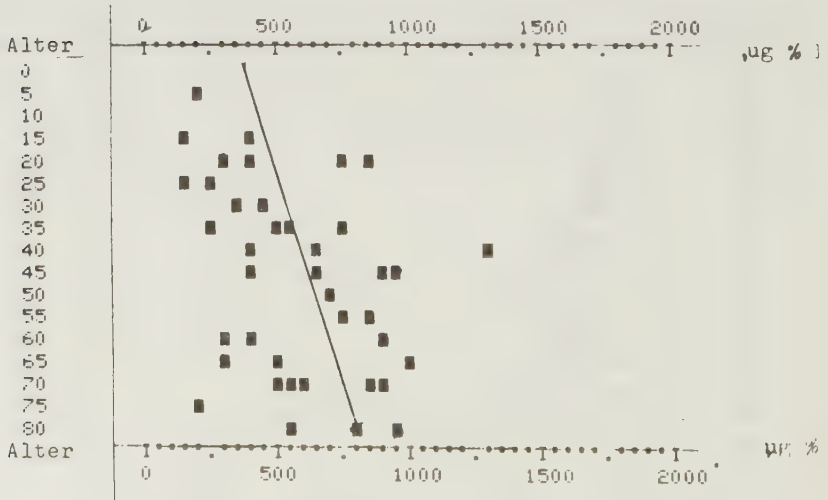


Abb. 19 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurmitte des männlichen Untersuchungs-
gutes. $m = 4,8$ $k = 382$

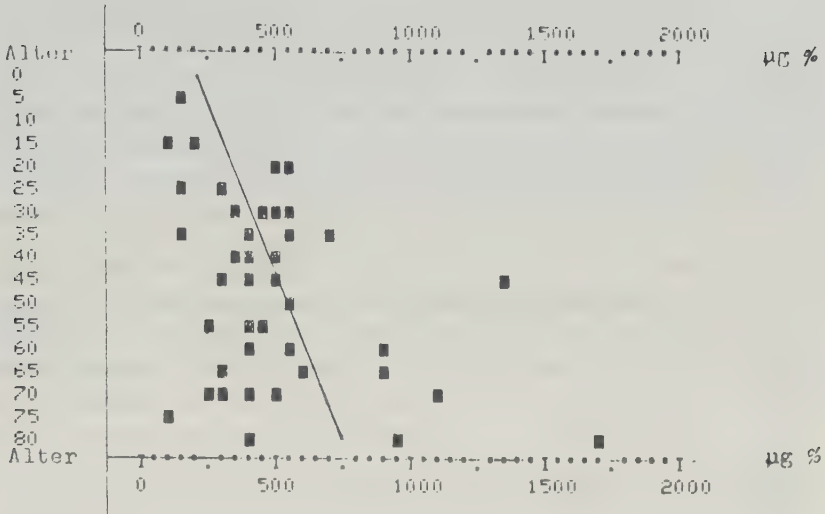


Abb. 20 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurepiphyse des männlichen Untersuchungsgutes. $m = 6,4$ $k = 240$

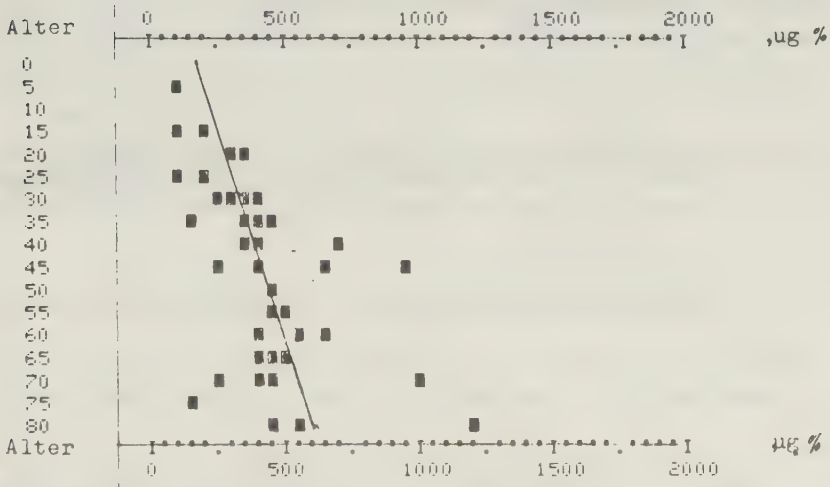


Abb. 21 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Knochenmittelwerte der männlichen Probanden. $m = 5,7$ $k = 188$

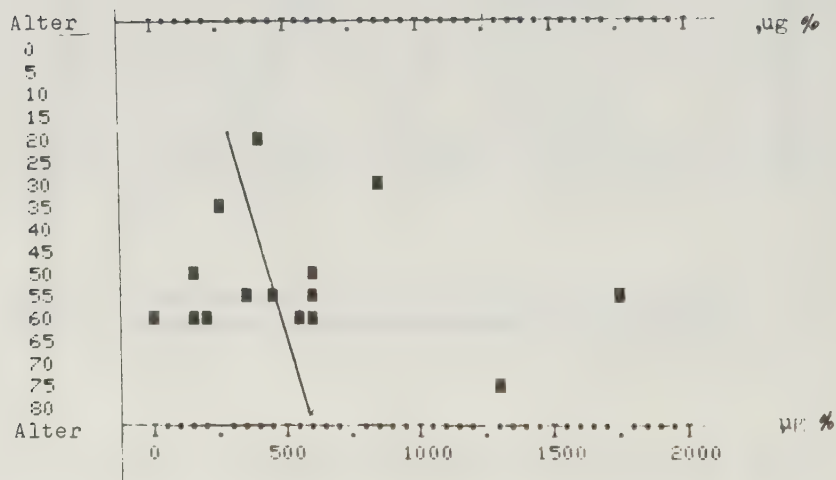


Abb. 22 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurmitte des weiblichen Untersuchungsgutes. $m = 7,9$ $k = 211$

VI. A. 2. b) Diskussion

Wir können aus der Tab. 9 entnehmen, daß sich die mittleren Bleikonzentrationen der männlichen und weiblichen Knochen nicht sehr stark unterscheiden. Den höchsten Bleigehalt fanden wir wiederum im Schädel, Femurmitte und Femurepiphyse. Somit ergibt sich kein wesentlicher Unterschied zu den Werten des Gesamtgutes.

Eine Bestätigung der Aussage der Tab. 9 bringt der Vergleich der mittleren Bleikonzentrationen der männlichen und weiblichen Knochen nach dem zweiseitigen t-Test. Wie die Tab. 10 der errechneten Wahrscheinlichkeiten zeigt, unterscheiden sich die männlichen und weiblichen Knochen nicht signifikant untereinander, d. h. sie sind einander nahezu gleichzusetzen.

Ein Vergleich der mittleren Bleikonzentrationen in den einzelnen Jahrzehnten s. Tab. 11 und 12 zeigt zumindest für den Schädel und die Femurepiphyse der männlichen Knochen eine gewisse Altersabhängigkeit. Auch in der Femurmitte der weiblichen Knochen ist in den Jahrzehnten eine leichte Altersabhängigkeit nachweisbar. Wie aus der Abb. 22 zu entnehmen ist, handelt es sich in diesem Fall jedoch um eine durch die zunehmende Streuung in den hohen Altersklassen hervorgerufene Altersabhängigkeit. Die Regressionskoeffizienten der männlichen Knochen zeigen für den Schädel, die Femurmitte und die Femurepiphyse eine Altersabhängigkeit wie aus Tab. 13 ersichtlich ist.

Die Regressionsgeraden, die den Abb. 16, 19 und 20 zu entnehmen sind bestätigen dieses Ergebnis.

VI. A. 3. a) Ergebnisse der Stadt- und Landbevölkerung

Die wiederum eingangs bestimmten Mediane und Signifikanzschranken in delogarithmierten Werte sind der Tab. 14 zu entnehmen.

Auch bei der Stadt- und Landbevölkerung prüften wir dann, ob sich die Bleikonzentrationen in den einzelnen Knochen signifikant unterscheiden. Die errechneten Wahrscheinlichkeiten sind der Tab. 15 zu entnehmen.

Tab. 14 Mediane und Signifikanzschranken in delogarithmierten Werten der Stadt- und Landbevölkerung

Knochen	Umwelt	$\tilde{x}$	$\tilde{x} - 1\sigma$	$\tilde{x} + 1\sigma$
Schädel	Stadt	435	218	867
	Land	392	213	722
Sternum	Stadt	223	101	492
	Land	151	82	276
Beckenkamm	Stadt	322	178	582
	Land	164	78	345
Femurmitte	Stadt	594	358	987
	Land	394	216	720
Femurepi.	Stadt	531	312	902
	Land	331	196	559
Mittelw.	Stadt	454	290	713
	Land	302	182	500

Tab. 15 Vergleichswerte der Bleikonzentrationen der Stadt- und Landbevölkerung nach dem zweiseitigen t-Test

Knochen	FG	$\hat{t}$	α
Schädel	43	0,58	0,5
Sternum	48	2,1	0,05
Beckenkamm	34	3,5	0,002
Femurmitte	36	2,6	0,001
Femurepiphyse	41	3,2	0,002
Mittelwerte	37	3,0	0,001

Da der überwiegende Teil der Stadtbevölkerung männlich war, unterteilten wir weiter in männliche und weibliche Stadt- und Landbevölkerung, um somit einen Unterschied auszuschließen, der auf die unterschiedliche Geschlechterverteilung zurückzuführen ist. Diese mittleren Bleikonzentrationen sind der Tab. 16 zu entnehmen. Die in dieser Tabelle enthaltenen Werte entsprechen dem arithmetischen Mittelwert, der sich von dem Medianwert unterscheidet.

Abschließend untersuchten wir auch in dieser Gruppe, ob eine Altersabhängigkeit des Bleigehaltes vorlag. Die Tab. 17 - 21 zeigen die berechneten mittleren Bleikonzentrationen der einzelnen Knochen in den verschiedenen Jahrzehnten. Auch hier unterschieden wir die männliche und weibliche Stadt- und Landbevölkerung. War eine Altersabhängigkeit in einer Gruppe nachweisbar, so bestimmten wir wiederum Regressions- und Korrelationskoeffizienten und zeichneten die entsprechenden Regressionsgeraden. Die Werte sind der Tab. 22, die Regressionsgeraden den Abb. 23 - 34 zu entnehmen.

Die Tab. 23 enthält in einer Übersicht die in den vorigen Kapiteln angeführten Regressions- und Korrelationskoeffizienten.

Tab. 16 Mittelwerte der Bleikonzentrationen in den männlichen und weiblichen Knochen der Stadt- und Landbevölkerung

Knochen	Geschlecht	Umwelt	$\bar{x}$
Schädel	männlich	Stadt	551
	weiblich	Stadt	492
	männlich	Land	400
	weiblich	Land	541
Sternum	männlich	Stadt	285
	weiblich	Stadt	312
	männlich	Land	143
	weiblich	Land	281
Beckenkamm	männlich	Stadt	353
	weiblich	Stadt	521
	männlich	Land	160
	weiblich	Land	278
Femurmitte	männlich	Stadt	653
	weiblich	Stadt	663
	männlich	Land	415
	weiblich	Land	535
Femurepi.	männlich	Stadt	587
	weiblich	Stadt	717
	männlich	Land	323
	weiblich	Land	423
Mittelw.	männlich	Stadt	489
	weiblich	Stadt	547
	männlich	Land	281
	weiblich	Land	393

Tab. 17 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ in den Knochen der Stadtbevölkerung innerhalb der einzelnen Jahrzehnte

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
20 - 40	508	299	335	581	532	454
40 - 60	552	300	462	669	619	518
60 - 80	722	378	397	816	765	621

Tab. 18 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ in den Knochen der Landbevölkerung innerhalb der einzelnen Jahrzehnte

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
20 - 40	312	159	236	394	361	290
40 - 60	578	207	257	574	426	408
60 - 80	558	141	186	349	331	313

Tab. 19 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ in den Knochen der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J innerhalb der übrigen Jahrzehnte

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
20 - 40	486	235	279	547	472	409
40 - 60	583	318	458	734	629	544
60 - 80	769	422	398	762	751	621

Tab. 20 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ in den Knochen der männlichen Landbevölkerung über 20 J innerhalb der übrigen Jahrzehnte

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
20 - 40	273	142	177	422	320	269
40 - 60	800	292	158	441	442	426
60 - 80	558	141	186	349	331	313

Tab. 21 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ in den Knochen der weiblichen Stadtbevölkerung innerhalb der übrigen Jahrzehnte

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
20 - 40	716	810	851	887	1035	859
40 - 60	484	259	472	474	596	460
60 - 80	306	28	388	1309	888	583

Tab. 22 Mittlere Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ in den Knochen der weiblichen Landbevölkerung über 20 J innerhalb der übrigen Jahrzehnte

Alter	S	ST	BK	FM	FE	MW
20 - 40	472	214	477	285	446	378
40 - 60	550	197	269	591	424	406
60 - 80	entfällt, da keine Probanden					

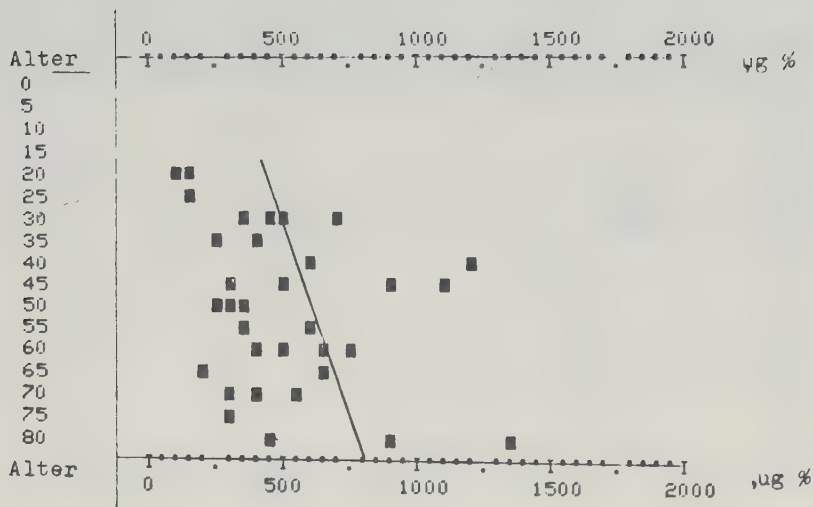


Abb. 23 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Schädel der Stadtbevölkerung über 20 J.
 $m = 5,9$ $k = 296$

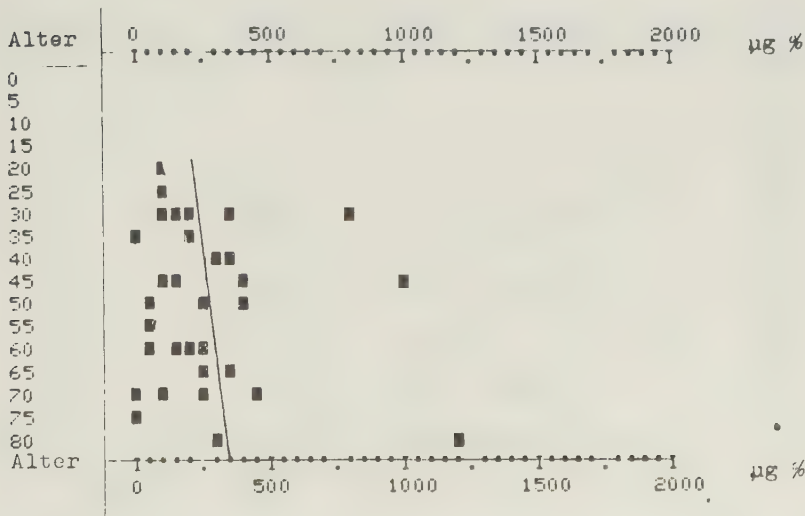


Abb. 24 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für das Sternum der Stadtbevölkerung über 20 J.
 $m = 2,1$ $k = 217$

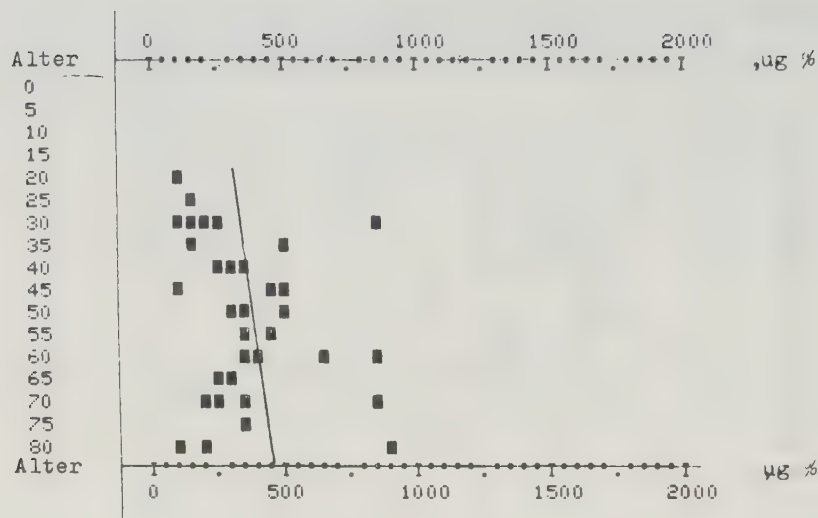


Abb. 25 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Beckenkamm der Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 2,3$ $k = 290$

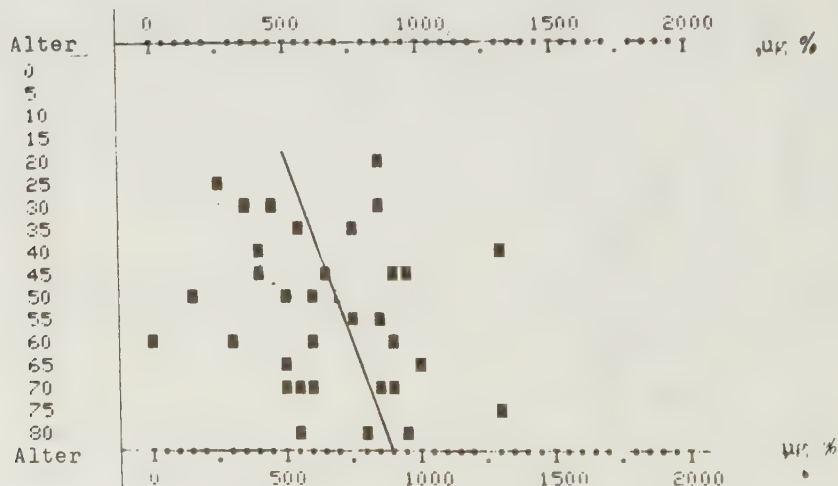


Abb. 26 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurmitte der Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 6,3$ $k = 371$

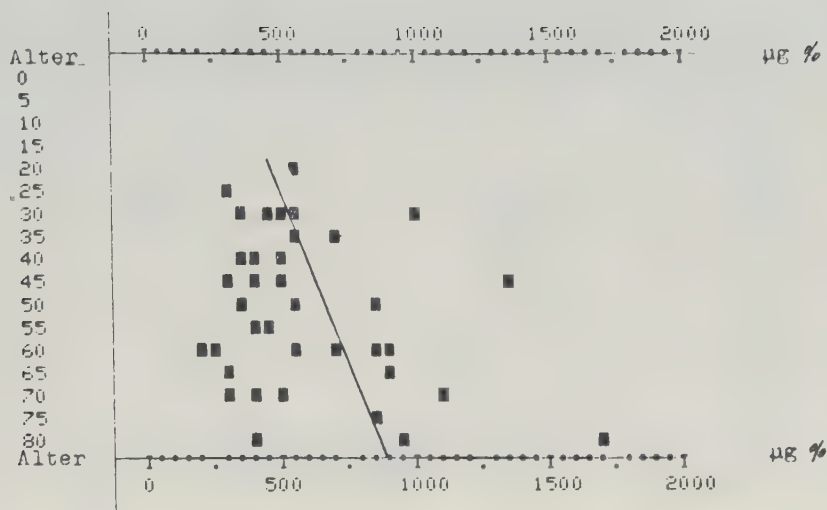


Abb. 27 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurepiphyse der Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 6,2$ $k = 324$

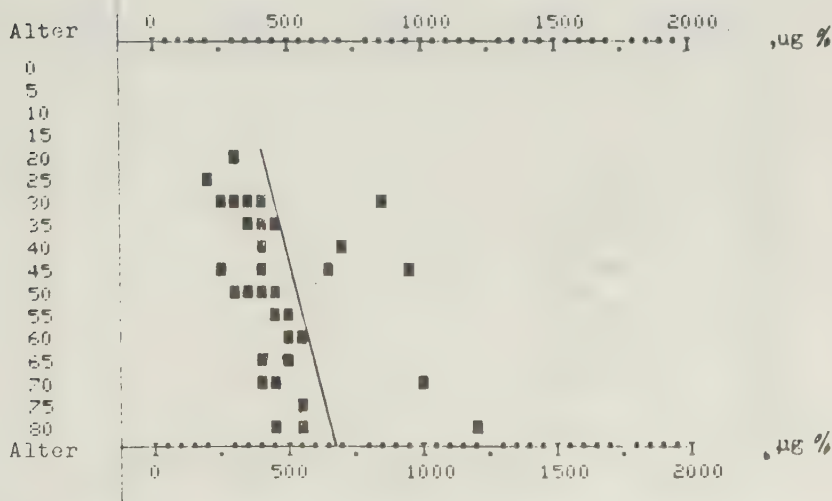


Abb. 28 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Knochenmittelwerte der Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 4,5$ $k = 301$

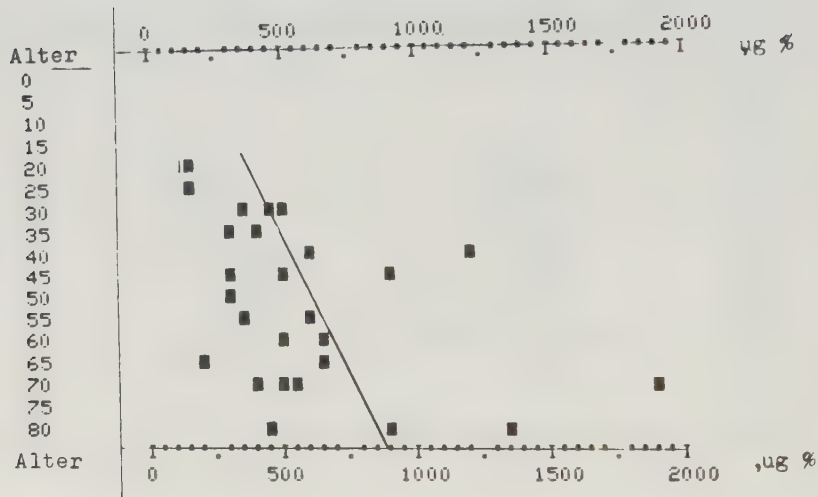


Abb. 29 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Schädel der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 7,8$ $k = 225$

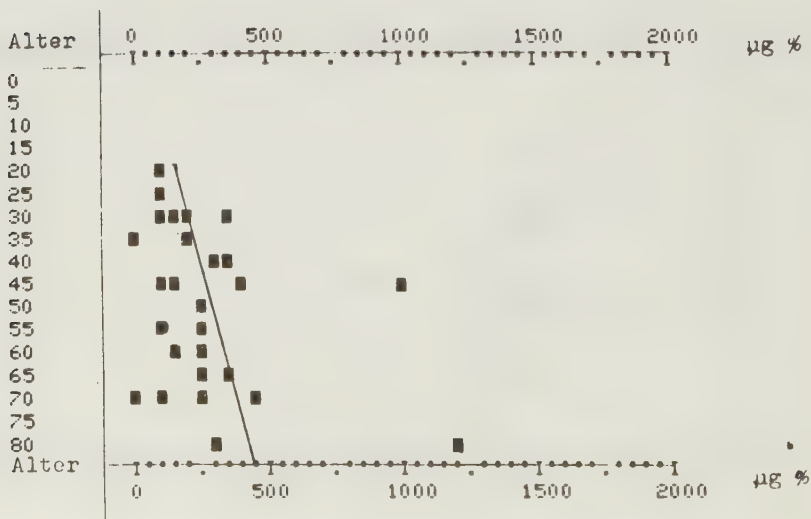


Abb. 30 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für das Sternum der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 4,9$ $k = 82$

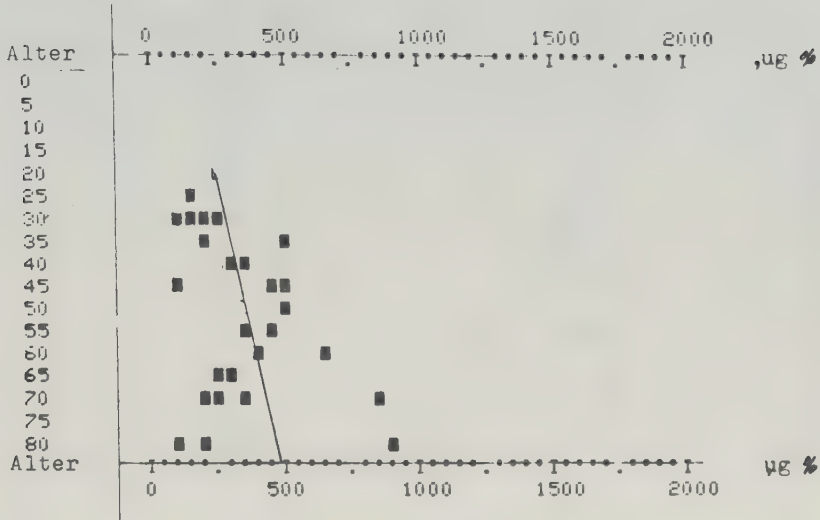


Abb. 31 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für den Beckenkamm der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 3,4$ $k = 206$

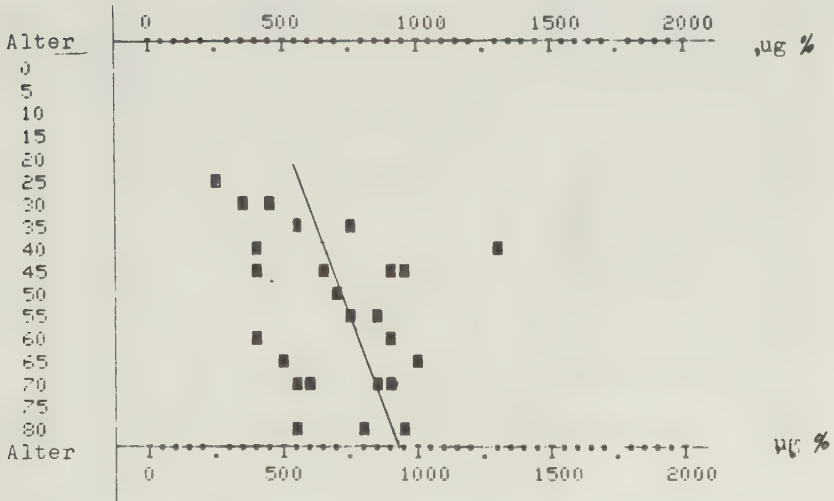


Abb. 32 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurmitte der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 5,8$ $k = 390$

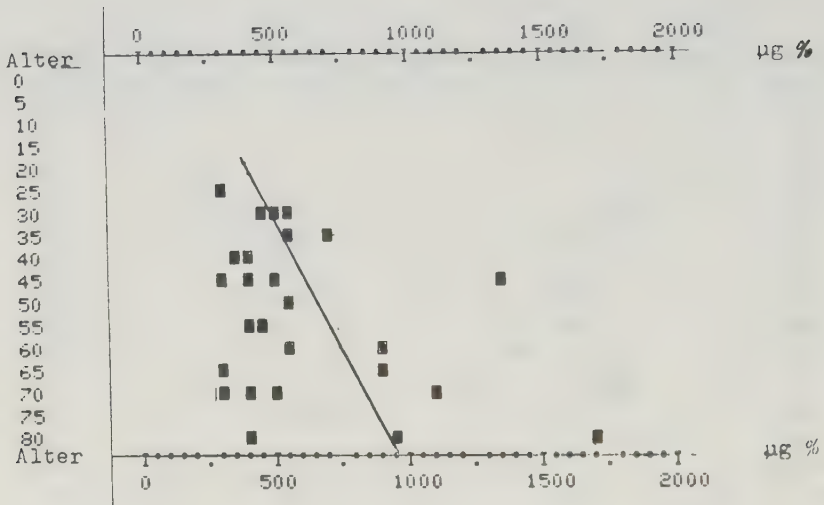


Abb. 33 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Femurepiphyse der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 7,5$ $k = 243$

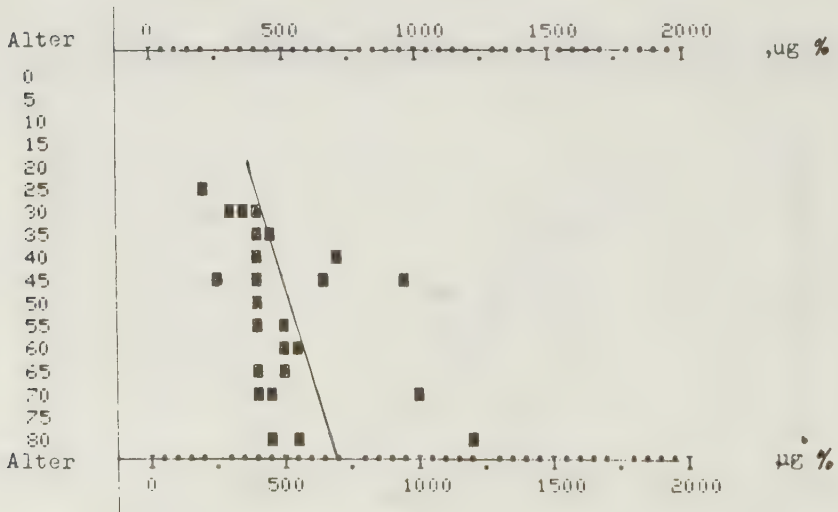


Abb. 34 Regressionsgerade der Bleikonzentration bezüglich des Alters für die Knochenmittelwerte der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. $m = 5,8$ $k = 235$

Tab. 23 Übersicht der Regressionskoeffizienten (Korrelationskoeffizienten) der Knochen, die eine Altersabhängigkeit vermuten ließen

Knochen	Gesamtgut	Männer	Stadtbevölkerung über 20 J.	männliche Stadt- bevölkerung über 20 J.
Schädel	7,9 (0,4)	9,2 (0,5)	5,9 (0,3)	7,8 (0,3)
Sternum	2,6 (0,2)	4,4 (0,4)	2,1 (0,1)	4,9 (0,3)
Beckenkamm	3,2 (0,3)	3,8 (0,4)	2,3 (0,2)	3,4 (0,3)
Femurmitte	5,2 (0,3)	4,8 (0,4)	6,3 (0,4)	5,8 (0,4)
Femurepiphyse	5,4 (0,4)	6,4 (0,4)	6,2 (0,3)	7,5 (0,4)
Mittelwerte	4,9 (0,4)	5,7 (0,5)	4,5 (0,4)	5,8 (0,4)

VI. A. 3. b) Diskussion

Die mittleren Bleikonzentrationen waren in sämtlichen Knochen der Stadtbevölkerung höher als in denen der Landbevölkerung, s. Tab. 14. Am höchsten war auch hier der Bleigehalt im Schädel und in den Röhrenknochen Femurmitte und Femurepiphyse. Wie die Tab. 15 zeigt, unterschieden sich sämtliche Knochen signifikant mit einer Ausnahme, der Bleigehalt im Schädel entsprach sich in etwa bei der Stadt- und Landbevölkerung.

Wir klärten dann weiter ab, ob die aufgeführten signifikanten Unterschiede der Bleikonzentrationen bei der Stadt- und Landbevölkerung nicht durch die unterschiedliche Geschlechterverteilung vorgetäuscht war. Wie aus der Tab. 16 ersichtlich, sind die weiblichen Bleikonzentrationen unter Berücksichtigung des Knochentyps und der Umwelt in 9 von 10 Fällen höher als die männlichen. Dies schließt aus, daß die aufgeführten signifikanten Unterschiede bei den Knochenbleikonzentrationen der Stadt- und Landbevölkerung auf die ungleichmäßige Geschlechterverteilung zurückzuführen ist. Der deutlich höhere Anteil der Frauen in der Landbevölkerung verringert dementsprechend den Unterschied zwischen Stadt und Land.

Weiter untersuchten wir, ob bei der männlichen und weiblichen Stadt- und Landbevölkerung eine altersabhängige vermehrte Blei-einlagerung nachweisbar war. Hierzu wurden die Bleikonzentrationen der Probanden unter 20 J. nicht berücksichtigt, da nur wenige vorhanden waren. Eine altersabhängige Bleikonzentrationserhöhung fand sich bei der Stadtbevölkerung über 20 J., die offensichtlich auf ihren männlichen Anteil zurückzuführen ist, da bei der weiblichen Stadtbevölkerung keine eindeutige Altersabhängigkeit nachzuweisen war. Bei der Landbevölkerung, auch nach Geschlechtern unterteilt, ergaben sich keine deutlichen Hinweise auf eine Altersabhängigkeit (Tab. 17 - 22).

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, daß eine deutliche Zunahme der Bleikonzentration in allen Knochen nur bei der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. nachweisbar war. Eine Verfälschung des Ergebnisses durch die vermehrte Streuung in den höheren Jahrgängen ist hier geringer als bei der Gesamtheit (s. S.27).

VI. B. Ergebnisse der prähistorischen und historischen Knochen

Als Mittelwert und Standardabweichung der Bleikonzentration in den prähistorischen und historischen Knochen fanden wir folgende Werte:

Tab. 24	$\bar{x}$	- 1 σ	+ 1 σ
	451	283	720

Nach den einzelnen Jahrhunderten geordnet fanden wir folgende Mittelwerte:

Mittelwerte der Bleikonzentrationen in $\mu\text{g}\%$ in den einzelnen Jahrhunderten

Jahre b.p.	$\bar{x}$
13100 $\pm$ 100	355
ca. 3000	438
ca. 1200	352
ca. 1100-900	909

Lediglich der Mittelwert der Bleikonzentrationen um das Jahr 1000 b.p. weicht wesentlich von den übrigen Mittelwerten ab. Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß unter den Knochenfunden bei Türkheim ein weibliches Skelett war, das an sämtlichen Knochen eine erheblich verdickte Compacta zeigte. Es ist anzunehmen, daß es sich in diesem Fall um eine Knochenentwicklungsstörung bzw. eine Knochensystemerkrankung handelt, wodurch es dann zu einer verstärkten Einlagerung von Blei in den Knochen kam.

Schließen wir den hohen Wert aus, so unterscheiden sich die übrigen Mittelwerte der prähistorischen und historischen Knochen nur unwesentlich von dem des Sektionsgutes. Daß bereits in diesen alten Knochen bei einer fehlenden Bleiexposition Spuren von Blei nachzuweisen waren, ist wohl einerseits darauf zurückzuführen, daß bereits etwas Blei mit der Nahrung aufgenommen wurde;

andererseits muß hier in Betracht gezogen werden, daß Bleiionen bedingt durch Ionisationsvorgänge bei der Lagerung mittels Regen- oder Grundwasser in den Knochen eingebracht werden könnten.

Signifikante Unterschiede in den Bleikonzentrationen vor und nach Einführen der Bleiglasuren konnten wir nicht nachweisen.

VII. Diskussion

Der ständig ansteigende Bleigehalt in der Luft und die damit für die gesamte Bevölkerung steigende Bleiexposition hat in den letzten Jahren zu vielen Untersuchungen bzw. Veröffentlichungen geführt. Insbesondere wurden die Bleikonzentrationen im Blut bzw. in den Organen gemessen.

Da nahezu 95 % des resorbierten Bleis im Körper in den Knochen abgelagert werden sollen (16, 17), erschien es interessant, an dem relativ breit gestreuten Sektionsmaterial des Institutes für Rechtsmedizin der Universität München Knochenbleikonzentrationen zu untersuchen. Dabei sollte insbesondere untersucht werden, ob unterschiedliche Bleikonzentrationen bei männlichen und weiblichen Leichen, bei Stadt- bzw. Landbevölkerung, nachweisbar waren. Ferner sollte geprüft werden, ob eine Altersabhängigkeit festzustellen war, bzw. ob erhöhte Bleiexposition zwangsläufig zu hohen Bleikonzentrationen führt. Nicht zuletzt erschien es auch interessant, die Bleikonzentrationen der überwiegend spongiosahaltigen Knochen denen mit erhöhtem Compacta-Anteil gegenüberzustellen.

Wie schon eingangs erwähnt, finden wir in der Literatur der letzten Jahre relativ häufig Angaben über die Blut- und Organbleikonzentrationen. Knochenbleikonzentrationen sind einmal 1967 bei Großmann und Heilanz beschrieben, genauere Angaben finden wir in der Veröffentlichung von Barry und Morsman aus dem Jahr 1970. Wir werden im folgenden ihre Werte mit unseren Ergebnissen diskutieren, zumal bei Barry und Morsman ähnlich unserem Untersuchungsmaterial ebenfalls Sektionsknochen untersucht wurden.

Die mittlere Bleikonzentration in den Knochen des gesamten Untersuchungsgutes waren wie folgt:

Femurmitte	513 µg% Pb
Femurepiphyse	450 µg% Pb
Schädel	408 µg% Pb
Beckenkamm	254 µg% Pb
Sternum	195 µg% Pb

Somit fanden wir in unserem Untersuchungsgut den höchsten Bleigehalt in den überwiegend kompaktahaltigen Knochen Femurmitte

und Schädel. Die erhöhte Bleikonzentration in der spongiosahaltigen Femurepiphyse ist wahrscheinlich auf den verstärkten Stoffwechsel in dieser Wachstumszone zurückzuführen.

Zusammenfassend konnten wir somit feststellen, daß der Bleigehalt in den Röhrenknochen (FM und FE) über dem der platten Knochen (S, ST, BK) lag, jedoch war der Unterschied bei unseren Untersuchungen nicht so deutlich wie bei Barry, der beschrieben hat, daß die Bleikonzentration in den Röhrenknochen 2 1/2mal so hoch sein soll als in den platten Knochen. Dies ist möglicherweise auf das unterschiedliche Kollektiv zurückzuführen.

Wir untersuchten weiter, ob die mittleren Bleikonzentrationen der Knochen des Gesamtgutes signifikante Unterschiede aufwiesen, oder ob sie einander in etwa entsprachen. Es zeigte sich, daß lediglich der Schädel und die Femurmitte, ferner die Femurmitte und die Femurepiphyse in ihrem Bleigehalt vergleichbar waren, alle übrigen Knochen unterschieden sich signifikant. Für Biopsien sollten daher in Zukunft für die Bestimmung des Bleigehaltes z. B. bei einer Bleivergiftung nur bestimmte Knochen verwendet werden. Entsprechende Angaben in der Literatur sind uns nicht bekannt.

Weiter kamen wir zu dem Ergebnis, daß sich die Bleikonzentrationen in den männlichen und weiblichen Knochen nicht signifikant unterscheiden. Hierzu berichtet dagegen Barry, daß in seiner Untersuchungsreihe die männlichen und weiblichen mittleren Bleikonzentrationen ein Verhältnis von 3 : 2 zeigten.

Der Bleigehalt in den Knochen der Stadt- und Landbevölkerung zeigte abgesehen vom Schädel signifikante Unterschiede. Wie wir dann weiter nachweisen konnten, waren diese eindeutig auf die unterschiedliche Bleiexposition und nicht auf die unterschiedliche Geschlechterverteilung in dem Kollektiv Stadt/Land zurückzuführen. Auch bei Barry, sowie Haas et al. finden wir Angaben darüber, daß eine verstärkte Bleiexposition zu einer vermehrten Bleiablagerung in die menschlichen Organe bzw. in die Knochen führt.

Eine mit dem Alter zunehmende Bleieinlagerung konnten wir bei den Knochen des Gesamtgutes nachweisen, dies war jedoch mögli-

cherweise durch die stärkere Streuung in den höheren Lebensjahren bedingt. Eine deutlich zunehmende Bleieinlagerung in die Knochen konnten wir bei der männlichen Stadtbevölkerung über 20 J. für alle fünf Knochentypen nachweisen. Barry gibt hierzu allgemein an, daß der Bleigehalt in den Knochen seiner Versuchsreihe in den höheren Lebensjahren ca. 40mal so hoch wie der in den kindlichen Knochen war. Diese extreme Altersabhängigkeit konnten wir zumindest im Mittel bei den Untersuchungen in unserem Institut nicht bestätigen.

Die mittlere Bleikonzentration in den prähistorischen und historischen Knochen lag bei 400 $\mu\text{g}\%$ Pb. Somit fand sich kein wesentlicher Unterschied zu dem Bleigehalt in den frischen Knochen des Sektionsgutes. Dies mag auf die Einlagerung von Blei während der Lagerung zurückzuführen sein.

VIII. Zusammenfassung

Im Institut für Rechtsmedizin der Universität München wurden in der Zeit von Februar bis November 1974 die Knochen von 57 Leichen gesammelt, um anschließend mittels flammenloser AAS auf ihren Bleigehalt untersucht zu werden. Es wurden bei 16 Frauen und 41 Männern die Bleikonzentrationen in fünf verschiedenen Knochen bestimmt: in den kompaktareichen Knochen Schädel und Femurmitte und in den spongiosareichen Knochen Sternum, Beckenkamm und Femurepiphyse. Der Bleigehalt in den kompaktahaltigen Knochen lag deutlich über dem der spongiosahaltigen. Eine Ausnahme bildete lediglich die Femurepiphyse, die als Wachstumszone einem verstärkten Stoffwechsel unterliegt.

Die mittleren Bleikonzentrationen der männlichen und weiblichen Knochen unterschieden sich nicht wesentlich.

Die Bleikonzentration in den Knochen der Stadtbevölkerung lag abgesehen vom Schädel signifikant über der in den Knochen der Landbevölkerung.

Eine gesicherte mit dem Alter zunehmende Erhöhung des Bleigehaltes war in allen Knochen der männlichen Stadtbevölkerung nachweisbar.

Die mittleren Bleikonzentrationen in den prähistorischen und historischen Knochen wichen nur gering vom Mittelwert der frischen Knochen ab.

Literaturverzeichnis

- (1) Barry, P.S.I. and Mossman, D. B. Lead concentrations in human tissues
Brit. J. Industr. Med. 27, 1970
339 - 351
- (2) Borneff, J. Arbeitsmedizin in Vorlesungen
Stuttgart - New York 1973, 227 - 230
- (3) Denning, H. Lehrbuch der Inneren Medizin
Thieme Verlag, Stuttgart, 1966
Bd. II, 620 - 623
- (4) Glowatzki, G. und Protsch, R. Das absolute Alter des paläolithischen Skeletts aus der mittleren
Klause bei Neuessing Kreis Kehlheim
in Bayern
Anthropol. Anz. Jg. 34, 2, 140 -
144, Stuttgart Mai 1974
- (5) Glowatzki, G. Das alemanische Gräberfeld von
Dirlewang bei Mindelheim
Materialheft zur Bayr. Vorgeschichte,
Heft 25, 44 - 50, 1971
- (6) Glowatzki, G. und Vollmayr, Th. Statistische Methodik zur Bearbeitung
eines frühmittelalterlichen
Gräberfeldes vom Goldberg bei Türkheim
in Bayerisch-Schwaben
Homo XXII, Heft 3, 1971
- (7) Gossmann, H. H. und Heilenz, S. Zum Bleigehalt menschlichen
Knochengewebes
Dtsch.med.Wschr. 92 (1967) 2267 -
2269
- (8) Grund, W. Toxikologie und Arbeitsmedizin
VEB-Verlag Berlin, 1968, 70 - 71

- (9) Haas, Th.,
Schaller, K.-H.,
Valentin, H. Über die Beziehungen zwischen Blut-
bleispiegel, Delta-Aminolävulin-
säuredehydratase-Aktivität und Delta-
Amino-Lävulinsäure-Ausscheidung bei
stoßförmiger beruflicher Belastung
ASA 2, Gutner-Verlag Stuttgart 1972,
67 - 71
- (10) Hauck, G. Erfahrungen mit der flammenlosen Atom-
absorption bei der Untersuchung bio-
logischen Materials auf Spuren von
Schwermetallen
Z. Anal. Chem. 267, Springer-Verlag
1973, 337 - 341
- (11) Hornbostel, H.,
Kaufmann, W.,
Siegenthaler, W. Innere Medizin in Praxis und Klinik
Thieme-Verlag, Stuttgart, 1973, Bd.
IV, 18,30 - 18,33
- (12) Kreysig, E. Statistische Methoden und ihre An-
wendungen
Vandenhoeck und Ruprecht-Verlag
Göttingen 1974
- (13) Lewin, L. Gifte und Vergiftungen
Thieme-Verlag, Ulm, 1962
- (14) Lorant, P. und
Svoboda, K. Untersuchungen über die Bleibela-
stung straßenstaubexponierter Be-
rufsgruppen in Wien
ASP, 4, 1973, 95 - 97
- (15) Sachs, L. Statistische Auswertungsmethoden
Springer-Verlag, Heidelberg - Ber-
lin, New York, 1969
- (16) Schlegel, H. und
Högger, D. Leitfaden der Arbeitsmedizin
Hans-Huber-Verlag, Bern - Stutt-
gart - Wien, 1973, 146 - 159

- (17) Valentin, H. Arbeitsmedizin
 Thieme-Verlag Stuttgart
- (18) Wirth, W. Toxikologie-Fibel
 Hecht, G. Thieme-Verlag Stuttgart, 1971

Lebenslauf

Als älteste Tochter des praktischen Arztes Dr. med. G. Krieger und seiner Ehefrau Ilse, geb. Röschmann, wurde ich am 17. 7. 1945 in Viöl im Landkreis Husum in Schleswig-Holstein geboren.

In Viöl besuchte ich auch von 1952 bis 1956 die Volksschule. Im Frühjahr des Jahres 1956 bestand ich die Aufnahmeprüfung für das Gymnasium, die Theodor-Storm-Schule in Husum. Nach neunjähriger Oberschule bestand ich dann im Februar 1965 mein Abitur. Im Anschluß an die Schulzeit arbeitete ich dann ein Jahr in dem Altenheim Neufriedenheim in München.

Im Sommersemester 1966 wurde ich zum Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität in München zugelassen. Bis auf das Sommersemester 1969, in dem ich in Hamburg studierte, verbrachte ich die gesamte Studienzeit in München; hier bestand ich auch im Dezember 1971 mein medizinisches Staatsexamen. Die Medizinalassistentenzeit begann ich am 1. 2. 1972 in der Landpraxis meines Vaters. Nach 2 Monaten wechselte ich in das Kinderzentrum München zu Herrn Prof. Dr. Hellbrügge. Die internistische Medizinalassistentenzeit begann ich am 1. 8. 1972 bei Herrn Chefarzt Priv.-Doz. Dr. Dieterle im Städt. Krankenhaus Neuperlach. Nach vier Monaten wechselte ich in die Chirurgische Privatklinik Bogenhausen, um dort meine Medizinalassistentenzeit zu beenden. Am 1. 3. 1973 erhielt ich die Approbation. Von April bis November 1973 arbeitete ich als Assistenzärztin auf der III. Med. Abteilung des Westkrankenhauses Augsburg unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Frosch. Am 1. 11. 1973 begann ich dann meine Facharztausbildung zur Röntgenologin bei Herrn Chefarzt Priv.-Doz. Dr. Zimmermann im Kreiskrankenhaus München-Pasing, an dem ich zur Zeit beschäftigt bin.

Im August 1972 heiratete ich den Rechtsanwalt Herbert Kreglinger.

